



Matias Huhta

Katutyömaan laadunvalvonta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan insinööri

Insinöörityö

26.3.2024

Tiivistelmä

Tekijä: Matias Huhta
Otsikko: Katutyömaan laadunvalvonta
Sivumäärä: 31 sivua
Aika: 26.3.2024

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine: Infra rakentaminen
Ohjaajat: Työmaapäällikkö Paavo Karjalainen
Lehtori Anu Ilander

Opinnäytetyön keskeisenä tavoitteena oli tarjota käytännönläheinen lähestymistapa katutyömaan laadunvalvontaan, joka toimisi tehokkaana apuvälineenä työnjohdon perehdytykseen. Opinnäytetyössä teoriapohjana hyödynnettiin InfraRyl 2023/2, Väyläviraston ohjeistuksia sekä useamman kadunsaneeraustyömaan asiakirjoja.

Työssä käytiin läpi tyypilliset kadunrakennusvaiheet ja niiden yleiset laatuvaatimukset, käsiteltiin tarvittavia laatusuunnitelmia, yleisimpiä laatumittauksia ja mittauksien suorittamista, turvallisuuden arviointia sekä keinoja turvallisuuden parantamiseen katutyömailla. Lisäksi tarkasteltiin laadunvalvonnan positiivisia vaikutuksia eri osa-alueisiin katutyömailla.

Lopputuloksena työ tarjoaa hyvät perusteet katutyömaan laadunvalvonnalle. On kuitenkin huomioitava, että eri katutyömailla saattaa olla erilaiset lähtökohdat, mikä voi edellyttää erilaisten suunnitteluratkaisujen hyödyntämistä. Siksi on ensisijaisen tärkeää tutustua jokaiseen kohteeseen perusteellisesti, tarkistaa suunnitelma-asiakirjat sekä selvittää mahdolliset poikkeamat ja erikoistilanteet.

Avainsanat: Laadunvalvonta, Katutyömaa, MVR-mittaus, Perehdytys, Turvallisuus

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Matias Huhta
Title: Quality Control on Street Construction Sites
Number of Pages: 31 pages
Date: 26 March 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Metropolia University of Applied Sciences
Professional Major: Construction Engineering, Civil Engineering
Supervisors: Paavo Karjalainen, Project Manager
Anu Ilander, Lecturer

The main objective of the thesis was to provide a practical approach to quality control on road construction sites, serving as an effective tool for management training. The theoretical framework of the thesis included InfraRyl 2023/2, guidance from the Finnish Transport Infrastructure Agency (Väylävirasto), and documentation from several street renovation sites.

The thesis covers typical road construction phases and their overall quality requirements, discusses necessary quality plans, common quality measurements and their execution, safety assessment, and methods for improving safety on road construction sites. Additionally, it examined the positive impacts of quality control on various aspects of road construction projects.

It should be noted that different sites may have different starting points, which may require the utilization of different planning solutions. Therefore, it is important to thoroughly familiarize oneself with each worksite, review the planning documents, and identify any deviations and special situations, if this is not carried out projects might face time delays, extensions, increased costs, to name a few.

Keywords: Quality control, Road construction site, Infrastructure, Measurement methods, Work safety

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kadunrakentamisen vaiheet	2
3	Laatusuunnitelmat	12
4	Katutyömaan laadunvalvontamenetelmät	14
	4.1.1 Kantavuuden mittaus	14
	4.1.2 Levykuormituskoe	16
4.2	Sijaintitiedot	18
	4.2.1 GNSS-mittalaitteet	19
	4.2.2 Takymetri	19
4.3	Putkilinjojen tarkastuskuvaukset	21
4.4	Vesijohdon vesinäyte	23
4.5	Vesijohdon painekoe	25
4.6	Katutyömaan turvallisuus	26
	4.6.1 MVR-mittari	26
	4.6.2 Perehdyttäminen	27
4.7	Valokuvaus laadunvalvonnassa	28
5	Itselle luovutus	29
6	Laadunvalvonnan hyödyt katutyömaalla	30
	6.1 Ennaltaehkäisevä vaikutus virheiden vähentämisessä	30
	6.2 Kustannusten ja aikataulun hallinta	30
7	Pohdinta	31
	Lähteet	1

Lyhenteet

Ajon./vrk:

Ajoneuvoa vuorokauden aikana

MVR-Mittaus

Maa- ja vesirakentamisen turvallisuusmittaus

RYL:

Rakentamisen yleiset laatuvaatimukset

1 Johdanto

Laadunvalvonta tarkoittaa sitä, että työtä tehdessä valvotaan työtä niin, että lopputuloksena on tuote, joka vastaa ominaisuuksiltaan tilaajan tilaamaa tuotetta. Katua rakentaessa on monia työvaiheita, jotka vaikuttavat kadun toimivuuteen, ulkonäköön sekä kadun kestävyuteen. Tämän takia on tärkeää valvoa ja mitata että rakennettu katu vastaa toivottuja vaatimuksia. Laadun valvonnalla pystytään myös säästämään kustannuksissa huomaamalla laatu puutteet aikaisessa vaiheessa ja näin vähentäen korjauksen tarvetta ja siitä syntyviä kustannuksia. Laadunvalvonnalla kootaan myös työmaan luovutusta varten aineistoa, jota voidaan käyttää lähtötietoina alueen tuleville hankkeille.

Katurakentamista on vaikeuttamassa, ettei maanalaisista rakenteista ole aina tarkkaa tietoa. Tämän takia katutyömaalla tulee suunnitelmista poikkeavia tilanteita, jotka täytyy huomioida laadunvalvonnassa poikkeamaraporteilla ja suunnitelma muutoksilla.

Tässä tutkimuksessa tavoitteena on selvittää katutyömaan laadunvalvontaan tarvittavat toimet ja niiden toteuttamistapa. Tästä työstä saa hyvän käsityksen laadunvalvonnan kokonaisuudesta sekä tätä työtä voi käyttää katutyömaalla laadunvalvonnan perehdytykseen sekä ohjeistukseen.

2 Kadunrakentamisen vaiheet

Katurakentamisen järjestys ja työvaiheet riippuvat hieman projektista mutta on yleisesti ne noudattavat tiettyä järjestystä. Tässä on esitetty kadunrakentaminen yleisessä järjestyksessä tyypillisessä kadunrakennuskohteessa.

- 1 Rakentamisen ensimmäinen vaihe on nykyisten rakenteiden purku tai suojaus sekä alueen raivaus ja paikkojen valmistelu. Tätä varten usein pidetään katselmus tilaajan ja valvojan kanssa, jossa käydään läpi suunnitelmissa esitettyjen rakenteiden purkutyöt tarkemmin ja merkataan purettavat kohteet maastoon selkeyden vuoksi. Nykyisten rakenteiden poistoa valvotaan silmämääräisesti.



Kuva 1, Puiden poisto kontukujan alueelta. (1)

- 2 Kun alueelta on saatu poistettua purettavat rakenteet ja suojattu säilytettävät rakenteet päästään aloittamaan tyypilliset maanrakennustyöt, joihin kuuluu tarvittavien kaivantojen ja täyttöjen teot. Kaivantojen ja pengertäytöjen kelpoisuutta valvotaan kartoittamalla lopullinen pinta vähintään 20 m välein, tämä tapahtuu usein koneautomaatiota käyttäen mutta sen voi tehdä myös ilmakuvakartoituksella, takymetrillä, laserkeilaamalla tai GNSS-mittalaitteella. Maaperän laatua täytyy myös jatkuvasti tarkastella ja tarvittaessa tarkastaa maanäytein, vastaako maaperän laatu suunnitelma-asiakirjoissa esitettyä. (2.)



Kuva 2, Maanleikkaus alimpaan yhdistelmäpintaan kevyenliikenteen väylällä. (3)

- 3 Seuraavaksi asennetaan vesihuollon infrastruktuuri, kuten vesi- ja viemäriputket, salaojat ja muut tarvittavat putkistot ja rakenteet.

Vesihuollon putkille tehdään arinat ja asennusalusta ennen niiden asentamista, joiden kelpoisuus osoitetaan pohjan kartoituksella sekä asennusalustan tiiveysasteen ja tiiveyssuhteen mittauksella. Tasatun asennusalustan epätasaisuudeksi sallitaan enintään ± 15 mm 3 m:n matkalla. Asennusalustan suurin sallittu poikkeama on 30 mm suunnitelma-asiakirjoissa osoitusta tasosta. Kannettavaa pudotuspainolaitetta käytettäessä tiiveyssuhde on keskimäärin alle 2,9 ja pohjalevyn tulee olla 132 mm. (4.)

Vesijohto ja viemärit asennetaan asennusalustan päälle niin, että putket tukeutuvat koko pituudeltaan asennusalustaan. Putkien liitokset tarkistetaan silmämääräisesti ja vesihuollon putket kartoitetaan.

Valmiissa vesihuollon putkissa sallitaan seuraavat poikkeamat, jos ne eivät haittaa rakenteen toimivuutta tai johtohaarojen rakentamista: Vietto- ja paineviemäriin sekä vesijohdon sijainti vaakatasossa $\pm 0,1$ m, paineviemäriin ja vesijohdon korkeusasema $\pm 0,1$ m, viettoviemäriin sivupoikkeama suorasta linjasta on valitun mittausmatkan kolmassadasosa (1/300).

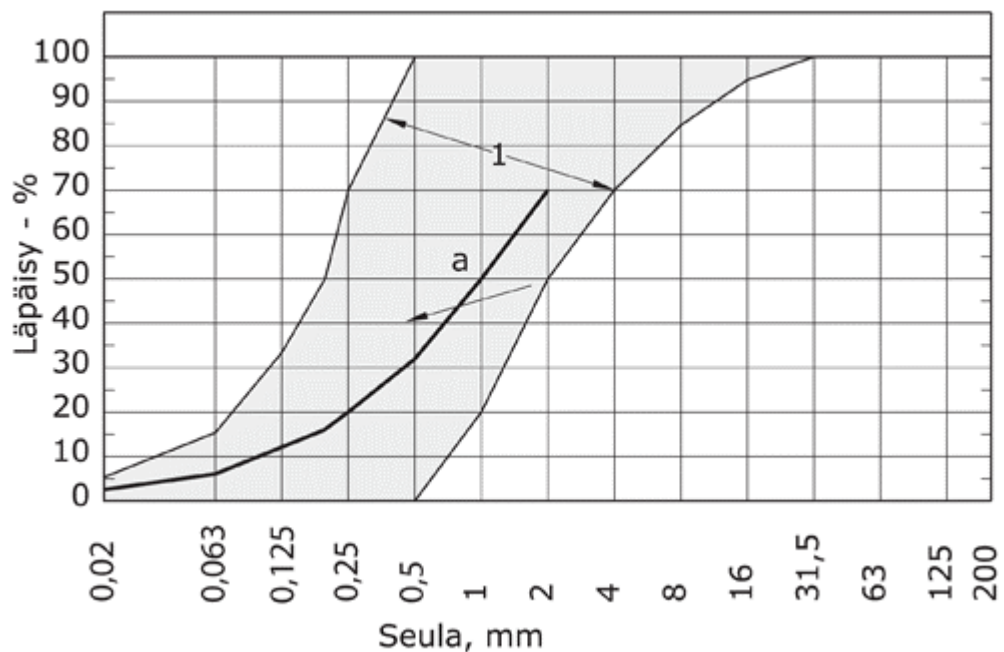
Viettoviemäreissä sallitaan alla olevan taulukon mukaiset poikkeamat suunnitellusta korkeusasemasta ja kaltevuudesta edellyttäen, että viemäriin ei jää vesipainanteita, kaivoon tulevan putken vesijuoksu ei ole lähtevän putken vesijuoksua alempana ja johdon pituuskaltevuus peräkkäisten kaivojen välillä on > 0 promillea. Kaltevuus tai korkeus eivät kumpikaan saa poiketa sallittua arvoa enempää. Putkikoon ollessa yli 1000 mm poikkeamat ovat suunnitelma-asiakirjojen mukaiset. (5.)

Taulukko 1, Viettoviemärin sallitut kaltevuuspoikkeamat. (6)

Suunnitelman mukainen kaltevuus, ‰	Kaltevuuspoikkeama kaivovälillä enintään, ‰
>5	1,5
3...5	1,0
<3	1,0

Vesijohdolta vaaditaan tämän lisäksi hyväksyttävä tiiveystulos vesijohdon painekokeesta.

- 4 Kun vesihuollon infrastruktuuri on asennettu ja tarkastettu, rakennetaan kadun rakennekerrokset. Tämä sisältää suodatinkerroksen, jakavan kerroksen, kantavan kerroksen ja päällysrakenteen. Rakennekerroksien tekeminen alkaa suodatinkerroksen rakentamisella. Suodatinkerros voidaan toteuttaa pengertämällä suunnitelma-asiakirjojen paksuinen kerros luonnonkiviaineksista tai uusiomateriaalista, joiden rakeisuus on alla olevan kuvan mukainen. (7.)



Kuva 3, Rakeisuustaulukko suodatinkerrokselle. (8)

Toinen tapa toteuttaa suodatinkerros on käyttää suodatinkangasta. Kangas levitetään suunnitelma-asiakirjojen esittämälle paikalle ja kaikkiin saumakohtiin tehdään vähintään 0,5 m limitys. Suodatinkankailla on laatuvaatimukset ja sopivuus eri kohteisiin määritellään NorGeoSpec 2012 standardin mukaan, josta tulee luokat N1-N5, joista N1 on heikointa ja N5 vahvinta. Käytettävä suodatinkankaan luokka riippuu pohjamaasta ja yllä olevasta täyttömateriaalin enimmäisraekoosta. (9) (10.)

Jakava kerros on kalliomurskeesta, soramurskeesta, luonnonsorasta tai uusiomateriaalista tehty kerros, joka jakaa kadulle tulevan kuorman tasaisesti maapohjaan ja tarjoaa tukialustan kantavalle kerrokselle sekä rajoittaa veden nousua pohjamaasta. Jakavan kerroksen sallitut mittauspoikkeamat on esitetty taulukossa 2. (11) (12.)

Taulukko 2, Jakavan kerroksen sallitut poikkeamat. (12)

Ominaisuus	Sallittu poikkeama
Rakenteen yläpinnan sijainti	
Poikkeama vaakasuunnassa	-0 / + 150 mm
Em. Poikkeaman muutos 20 m:n matkalla	100 mm
Rakenteen yläpinnan korkeustaso	
Yksittäinen poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan 1)	±30 mm
Yksittäisen poikkeaman muutos 20 m:n matkalla	30 mm
Keskiarvon poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan	± 15 mm
Rakenteen yläpinnan kaltevuuden poikkeama	± 1,0% - yksikköä
Tasaisuus 3 m:n oikolaudalla mitattuna	20 mm
1) Tähtäysmerkkien ja mittakepin avulla mitataan poikkeama kohtisuoraan pintaavasten, mutta takymetrimittauksessa poikkeama pystysuuntaan.	

Jakavan kerroksen kantavuus vaatimukset, materiaalivaatimukset ja mitat esitetään suunnitelma-asiakirjoissa ja ne suurelta osalta määräytyvät katuluokituksen perusteella. Katuluokitukset on esitetty taulukossa 3. Kantavuusvaatimukset todistetaan kantavuusmittauksilla käyttämällä pudotuspainolaitetta tai levykuormituskoetta 100 m välein.

Taulukko 3, Katuluokat (13)

Katuluokka	Kuvaus	Liikennemäärä, ajon./vrk
1	Erittäin raskaasti liikennöity moottori- tai pääkatu (ajokaistoja 2+2)	>30 000
2	Raskaasti liikennöity moottori- tai pääkatu (ajokaistoja 2+2)	10000...30 000
3	Pääkatu, kokoojakatu tai vilkasliikenteinen kerrostaloalueen asuntokatu (ajokaistoja 1+1)	2500...10 000
4	Asuntokatu tai pientaloalueen kokoojakatu, raskaiden ajoneuvojen pysäköintialueet	500...2 500
5	Pientaloalueen asuntokatu, huoltoliikenteen väylät, henkilöautojen pysäköintialueet	10...500
6	Jalkakäytävät, pyörätiet, puistotiet, ei ajoneuvoliikennettä	

Kantava kerros parantaa tien kantavuutta ja tarjoaa tasaisen kerroksen päällysrakenteille. Kantava kerros rakennetaan kalliomurskeesta, soramurskeesta tai uusiomateriaalista. Enimmäisraekoko valitaan kuormitusolosuhteiden mukaan. Suurempi raekoko lisää kantavuutta, mutta vaikeuttaa tasaamista ja liikennöintiä. Enimmäisraekokona käytetään enintään 1/3 kerralla tehtävän kerroksen paksuudesta. Kantavuus mitataan keskimäärin 40 m:n välein kullakin ajoradalla. (14) (15.)

- 5 Päälysrakenteen asennusvaiheessa asennetaan lopullinen päällyste kadun pinnalle. Tämä voi olla esimerkiksi asfaltti- tai betonipäällyste, kiveys tai muu soveltuva materiaali.

Asfaltin ominaisuudet ja tyyppi määritellään suunnitelma-asiakirjoissa ja asfaltin laatuvaatimukset löytyvät asfalttinormeista ja InfraRyl:istä. Ennen päällystämistä tarkistetaan asfalttipohjan kaltevuudet ja korko sekä reunatukien sijainti ja korkeusasema. Kaivojen, venttiilien, palopostien ja muiden laitteiden kannet asennetaan oikeaan korkoon ja kaltevuuteen ennen asfaltin levittämistä. Massa levitetään mahdollisimman tasaisesti päällystettävälle pinnalle usein käyttäen levittäjää mutta tilan puutteessa myös kaivinkonetta käyttäen. Märälle tai jäätyneelle pohjalle tehty asfalttipäällyste ei pakosti yllä tavoiteltuun laatuun ja sitä on vältettävä silloin kun se on mahdollista. Levityksen jälkeen massa tiivistetään asiaan kuuluvalla tiivistys kalustolla. (16) (17.)

Päälysrakenteen ollessa ladottava materiaali kuten betonikivi tai luonnonkivi on tärkeää jättää kantavan kerroksen korkoasemaan riittävä tila asennushiekkaa ja kiveä varten. Asennushiekka levitetään ja tasataan samana työpäivänä kuin kivet ladotaan. Ladottavien päälysrakenteiden kelpoisuus todistetaan tarkistamalla ja mittaamalla kivet 20 metrin välein ja silmämääräisellä katselmuksella, jossa ei havaita poikkeamia suunnitelma-asiakirjoihin. (18'.)



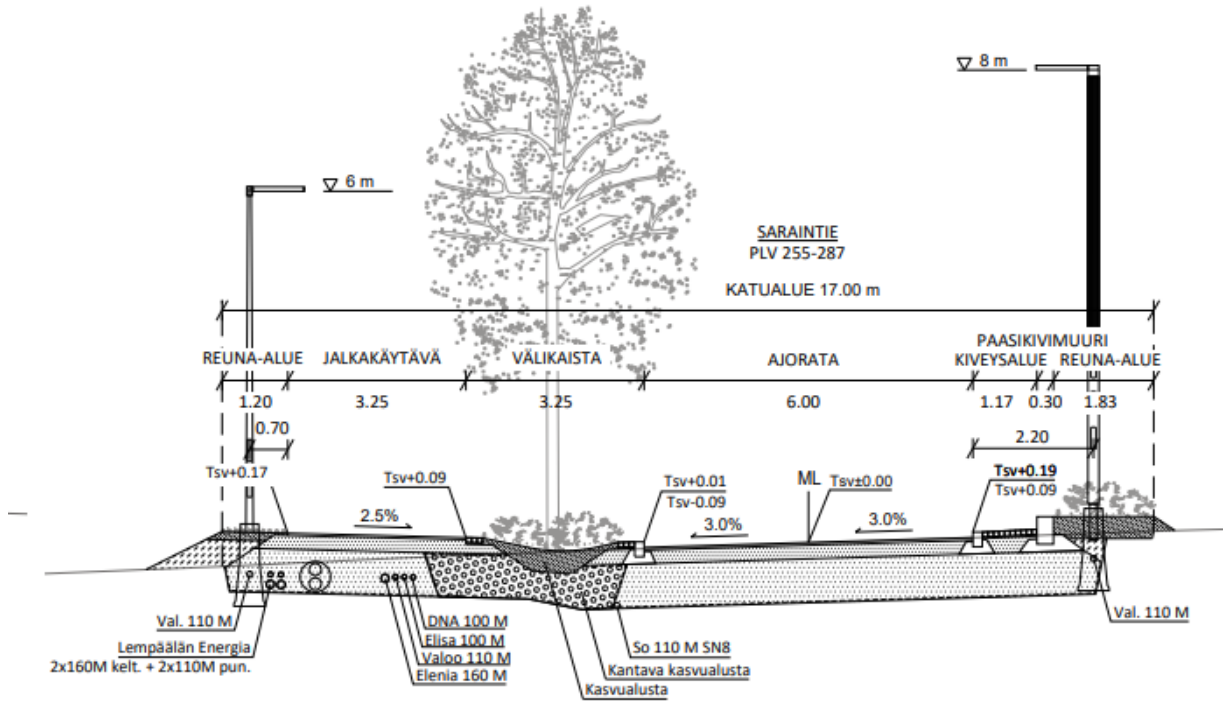
Kuva 4, Kuljuntien kiertoliittymään ABK 31 kerroksen levitys. (19)

- 6 Viimeistelyvaiheessa tehdään tarvittavat viimeistelytyöt, kuten reunakivien asennus, liikennemerkkien ja opasteiden asennus, viherrakenteiden toteutus sekä tarvittavat pintakäsittelytyöt.

Pintatöitä tehdessä on erityisen tärkeää silmämääräinen katselmus, koska nämä rakenteen näkyvät hyvin kadun käyttäjille. Vihertöitä tehdessä usein unohdetaan kasvien ja puiden saatavuus sekä istutusajat. Tämän pystyy estämään selvittämällä kasvien saatavuudet riittävän aikaisessa vaiheessa ja yhteensovittamalla istutukset muihin töihin.

- 7 Lopuksi tehdään loppusiivous ja viimeiset tarkastukset varmistaakseen, että katu on rakennettu suunnitelmien mukaisesti ja täyttää kaikki vaatimukset ja standardit.

Näiden vaiheiden avulla luodaan kestävä ja toimiva katu, joka palvelee kaupunkilaisia pitkään. Kuvassa 5 näet rakennetyyppileikkauksen, joka havainnollistaa tyypillisen kadun rakenteita.



Kuva 5, Saraintien poikkileikkaus paaluvälillä 255–287.

3 Laatusuunnitelmat

Pääurakoitsijan velvollisuuksiin kuuluu suunnitella kadunrakennustöiden tekeminen niin, että niistä syntyy mahdollisimman vähän haittaa työntekijöille ja ympäristölle. Tämän lisäksi urakoitsijan täytyy osoittaa, millä tavalla rakennusurakassa päästään tilaajan toivomaan laatuun. Nämä tiedot esitetään projektille laadittavassa toiminta- ja laatusuunnitelmassa, mikä luovutetaan tilaajalle. Kaikista päätyövaiheista ja vaarallista työvaiheista laaditaan myös työvaihekohtaiset työ- ja laatusuunnitelmat. Yleisiä työvaiheita ja vaarallisia töitä, joista työ- ja laatusuunnitelmat laaditaan, ovat maanleikkaukset, louhintatyöt, sähkötyöt, nostotyöt, päällystystyöt, sähkötyöt, raivaustyöt, kaapelien läheisyydessä työskentely, putkityöt sekä vihertyöt. Koska katurakentamisurakat ovat toisistaan eroavia täytyy tarkistaa suunnitelma-asiakirjoista, mitkä kaikki suunnitelmat täytyy tehdä jokaisen urakan kohdalla.

Työmaan laatusuunnitelmassa käsitellään seuraavat asiat:

1. Toiminta- ja laatusuunnitelman tarkoitus ja tavoite
2. Rakennuskohde
3. Urakan organisointi
4. Riskienhallinta ja työturvallisuus
5. Tuotannon suunnittelu
6. Aliurakat ja hankinnat
7. Suunnittelun hallinta ja tiedon kulun varmistus
8. Laadunvarmistus
9. Menettelyt poikkeamatapauksissa
10. Urakan luovutus
11. Takuu aika.

Työmaan laatusuunnitelman lisäksi päätyövaiheista ja vaarallisista töistä laaditaan työvaihesuunnitelma. Siinä käydään läpi seuraavat asiat:

1. Työvaiheen resurssit ja materiaalit
2. Valmistelutyöt työvaiheen toteutusta varten
3. Työturvallisuus ja ympäristö
4. Työn suorituksen kuvaus
5. Laadunvarmistus
6. Työvaiheiden vastuuhenkilöt
7. Aloituspäivän osallistujat kuittauksineen

4 Katutyömaan laadunvalvontamenetelmät

Katutyömaalla laatua valvoo työnjohto sekä tilaajan edustaja, mutta laadunvalvonta on yhteispeliä, johon jokainen työntekijä osallistuu vähintään seuraamalla omaa tekemistään.

Infrarakentamisessa tehdään laatumittauksia useista syistä. Yksi tärkeimmistä syistä on varmistaa, että rakentaminen täyttää tietyn laadun ja turvallisuuden tason. Laatumittaukset voivat auttaa rakennusprojektin johtajia havaitsemaan mahdolliset puutteet tai virheet rakenteessa, ennen kuin ne aiheuttavat ongelmia tai vaaratilanteita.

Laatua mitataan työmaan aikana useilla eritavoilla ja näistä mittauksista tehdään asiakirjat, joista selviää mittauksen tärkeät tiedot. Nämä asiakirjat esitetään tilaajalle ja lopuksi kasataan kelpoisuusasiakirjaan luovutusta varten. Jos mittauksista selviää, että työ ei vastaa vaadittavia laatuvaatimuksia tehdään laatupoikkeama asiakirja, jossa kerrotaan, millä tavalla laatuvaatimus alitettiin, syy tämän alituksen syntymiseen, miten sitä voidaan estää seuraavalla kerralla, kun sama työ tehdään, ja mahdolliset korjausehdotukset laatupoikkeamalle. Tämä poikkeamaportti esitetään tilaajalle, jonka kanssa sovitaan yhdessä jatkotoimenpiteet.

4.1.1 Kantavuuden mittaus

Kantavuuden mittaamiseen käytetään usein katutyömailla pudotuspainolaitetta sekä levykuormituslaitetta. Pudotuspainolaitteen peruseriaatteena toimii vapaasti putoavan painon aiheuttaman painuman mittaus. Tätä painumaa mitataan kiihtyvyys anturin avulla, joka integroidaan taipumaksi, jonka avulla lasketaan kimmomoduulin arvo E. Tätä arvoa käytetään kuvaamaan mittauskohteen kantavuutta. Ottamalla useita mittauksia samasta kohdasta saadaan selville tiiveys-suhde vertaamalla pudotuspainomittauksen ensimmäistä ja viimeistä mittausta. Tämä usein lyhennetään E2/E1 suhteeksi.

Pudotuspainomittauksessa käytetään joko peräkärriin tai pakettiauton sisätiloihin asennettavaa raskasta pudotuspainolaitetta, joka on esitetty kuvassa 6. tai kannettavaa pudotuspainolaitetta, joka on esitetty kuvassa 7. Raskas pudotuspainomittaus soveltuu hyvin tien kantavan ja jakavan rakennekerroksen kantavuuden ja tiiveyden mittaamiseen mutta ahtaisiin paikkoihin, ja kaivannossa tehtäviin mittauksiin se ei sovellu ollenkaan. Näihin käytetään kannettavaa pudotuspainolaitetta, joka sopii hyvin ohuiden rakennekerroksien kantavuus- ja tiiveysmittauksiin kuten putkiarinoiden mittaukseen. (21) (22.)



Kuva 6. Raskaan pudotuspainolaitteen perävaunu malli. (23)



Kuva 7. Kannettava pudotuspainolaite (24)

4.1.2 Levykuormituskoe

Levykuormituskoe on luonteeltaan staattinen mittausmenetelmä. Levykuormituslaitteisto koostuu hydraulisesta tunkista, kuormituslevystä, 1–3 kpl mittausantureista, sekä mittausanturin tukikehikosta. Vanhemmissa levykuormituslaitteissa käytetään usein kolmea kelloa, kun taas nykyaikaisissa laitteissa käytetään vain yhtä. Levykuormituskokeeseen tarvitaan myös vastapaino, joka yleensä on työmaalla valmiiksi oleva kone kuten kuorma-auto, kaivukone, kauhakuormaaja tai muu vastaava.

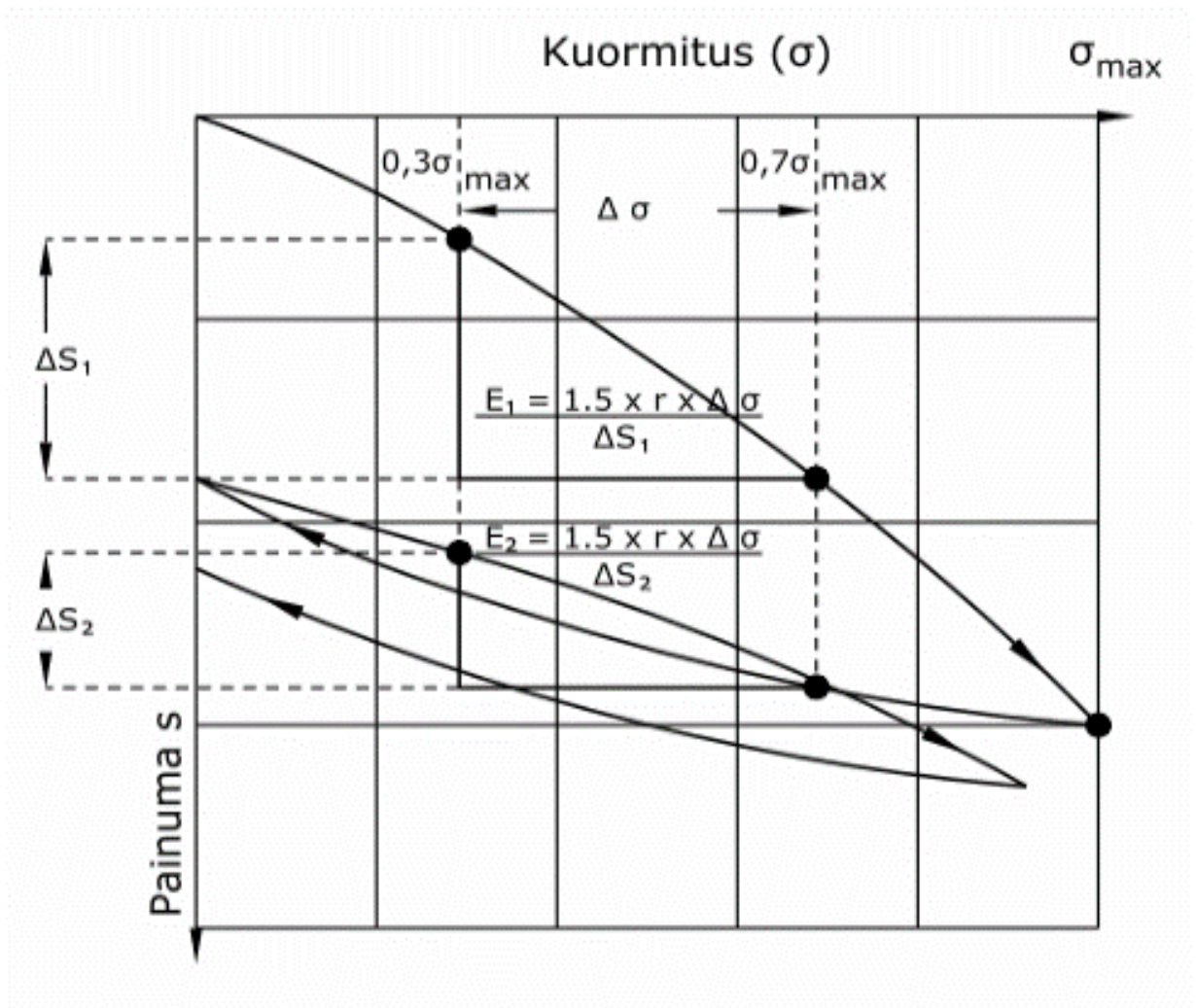


Kuva 8. Nykyaikainen levykuormituslaite, jossa on 1 mittauskello. (25)

Itse koe toteutetaan lisäämällä kuormitusta kuormituslevylle hydraulisella tunkilla ja kuormituksesta syntyvää painumaa seurataan mittakellon avulla. Kuormitusta nostetaan 60 kN:iin asti ja syntyneet painumat kirjataan ylös, kun painumisnopeus on hidastunut alle 0,01 mm/minuutissa. Levykuormituskoe suoritetaan kahden kertaan samalle tutkimuskohdalle, joista ensimmäisellä kuormituskerralla saatua kantavuusarvoa kutsutaan E1-arvoksi ja toisella kuormituskerralla saatua E2-arvoksi. Lopputuloksena saadaan kantavuusarvoksi suurimmalla kuormituksella käytetty E2-arvo.

Tiiveyssuhde kertoo, paljonko ensimmäinen kuormitus tiivisti tukittua kohtaa verrattuna toiseen kuormitukseen, ja tästä voidaan päätellä, oliko tiivistystyö riittävä. (21) (25.)

Levykuormituskokeen tulos määritetään kuvan 9 taulukon mukaisesti.



Kuva 9. Levykuormituskokeen tuloksen määrittäminen. (26)

4.2 Sijaintitiedot

Sijaintitietojen käyttö infrarakenteissa on erittäin tärkeää, jotta voidaan varmistaa rakenteiden sijainti ja lisätä ne tuleviin malleihin lähtötiedoiksi. Käytännössä rakenteiden sijaintitietoja tarvitaan lähes kaikessa rakennetussa infrarakenteessa, ja niiden tarkkuudella on suuri merkitys. Yleiset laatuvaatimukset rakenteiden sijaintivaatimuksista löytyvät InfraRYL:stä, mutta työselitteessä niitä on voitu tarvittaessa tarkentaa. Yleisimmät mittauslaitteet ovat joko GNSS-mittalaitteita tai taakymetrimittalaitteita.

4.2.1 GNSS-mittalaitteet

GNSS-mittalaitteiden käyttö infrarakenteiden kartoituksessa on yleistä, sillä ne ovat helppoja käyttää ja mahdollistavat käytön alueilla, joilla ei ole tunnettuja mittapisteitä. Tämän lisäksi ne tarjoavat nopean tavan saada sijaintitietoja, mutta niiden tarkkuus ei aina riitä kaikkein vaativimpiin sijaintivaatimuksiin. Parhaimmillaan näille mittalaitteille valmistajat voivat luvata 3 cm tarkkuuden. GNSS-mittalaitteiden tarkkuuteen vaikuttaa useat tekijät, kuten satelliittiyhteyden laatu, ympäristön olosuhteet ja mittalaitteen kalibrointi.



Kuva 10. GNSS-mittalaitteen vastaanotin ja ohjauspaneeli. (27)

4.2.2 Takymetri

Takymetri on mittalaite, joka mittaa kulmia ja etäisyyksiä. Nykyään takymetri on kuitenkin oleellinen osa infrarakentamista myös tietokoneen ansiosta, joka mahdollistaa monipuolisemmat mittaukset ja tarvittavat laskelmat. Takymetrilla päästään millien tarkkuuteen infratyömailla, mikä on erittäin tärkeää infrarakenteiden sijaintitietojen kannalta.

Takymetrin orientointi eli kojeen sijainnin määrittäminen halutussa koordinaatistossa tapahtuu mittaamalla etäisyys ja kulmat vähintään kahteen sijainnilta tunnettuun pisteeseen eri suunnissa. Tämä tekee takymetrin käytöstä hieman hitaamman ja vaikeammin käyttöisemmän mittausmenetelmän kuin GNSS-mittalaitteet. Käyttämällä useampaa pistettä voidaan kuitenkin saavuttaa tarkempi sijaintitieto ja vähentää orientoinnin sijaintitiedon virheen mahdollisuutta.

Robottitakymetri on edistyneempi versio perinteisestä takymetrusta, joka mahdollistaa automatisoidun mittausprosessin. Robottitakymetri voidaan ohjelmoida tekemään mittauksia automaattisesti halutusta suunnasta ja korkeudesta, mikä vähentää mittaukseen tarvittavaa aikaa ja tekee mittauksista tarkempia ja luotettavampia. Robottitakymetrit on varustettu erilaisilla antureilla ja teknologioilla, kuten GNSS-paikannuksella ja laserkeilausjärjestelmillä, jotka auttavat robottitakymetria tunnistamaan ympäröivän maaston ja rakenteet, mikä parantaa mittausprosessin tarkkuutta ja nopeutta.

Robottitakymetrit ovat myös helpompia ja nopeampia käyttää kuin perinteiset takymetrit, sillä niiden ohjaaminen tapahtuu yleensä langattomasti esimerkiksi kauko-ohjaimella tai tietokoneohjelmalla. Robottitakymetrit voivat myös tallentaa mittausdataa reaaliaikaisesti, mikä mahdollistaa nopean ja tarkan datan analysoinnin ja käytön.



Kuva 11. Nykyaikainen robottitakymetri (28)

4.3 Putkilinjojen tarkastuskuvaukset

Jäte- ja hulevesilinjoista tarkistetaan mahdolliset painumat, asennusvirheet, materiaali poikkeamat, muodonmuutokset ja putkirikot videokuvauksella. Jos putket eivät ole puhtaita, niin ne täytyy pestä ennen kuvauksen tekoa. Kuvauksen yhteydessä tehdään viettokaltevuusmittaus ja tulosten perusteelta tehdään raportti putkilinjan kunnosta, jossa käytetään Vesi- ja viemärlaitosyhdistyksen viemäreiden TV-kuvauksen tulkintaohjetta sekä LVV-kuntotutkimusopas 2013 ohjeistusta.



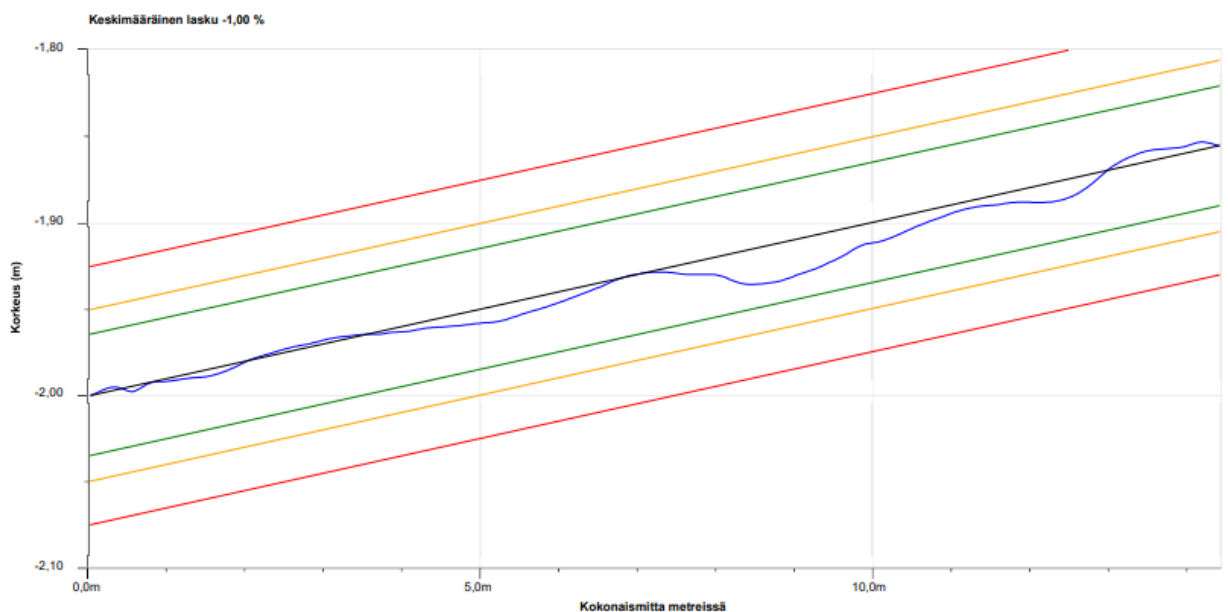
Kuva 12. Vasemmalla putki, jossa on painuma ja putken täyttö aste on noussut noin 40 %, oikealla ehjä putki. (29)

Viettokaltevuusmittaus

Kohta alhaalla
18764
Kohta ylhäällä
18749

Postinumero
Akaa
Päivämäärä
5.10.2022

Virtaussuunta
Virtaussuuntaa vastaan
Katu
Hirvialhonkatu



Kuva 13. Kuva viettokaltevuusmittauksen tuloksesta, jossa putki on kunnossa. (30)

Vakavuusluokitus on jaettu 4-osaiseen asteikkoon, josta 1 on paras ja 4 on huonoin kuntoluokka. Vikaluokitukset auttavat korjaustarpeen kiireellisyyden ja tarpeen arvioinnissa sekä ne auttavat tilaajaa ymmärtämään ongelma kohdan selkokielellä. Yleiset toimenpide-ehdotukset vakavuusluokkien perusteella on alla, mutta vakavuusluokkien toimenpiteitä täytyy katsoa tilannekohtaisesti.

Vakavuusluokitukset:

1. Vähäinen vika ei vaadi toimenpiteitä
2. Kohtalainen vika korjaus- ja huoltotarve arvioitava
3. Merkittävä vika korjaus- tai huoltotarve lähitulevaisuudessa
4. Vakava vika korjaus- tai huoltotarve heti

Taulukko 4. Jätevesiviemärien vakavuusluokitustaulukko (31)

Vakavuusluokka	VL 1	VL 2	VL 3	VL 4
Putkentäyttöaste	5–15 %	15–30 %	30–50 %	Yli 50 %
Kertymää	5–10 %	10–20 %	20–30 %	Yli 30 %
Muodonmuutos	Alle 5 %	5–15 %	15–25 %	Yli 25 %
Muita puutteita		Valmistusvika	Pintavaurio	Putkirikko

Taulukko 5. Sadevesiviemärien vakavuusluokitustaulukko (31)

Vakavuusluokka	VL 1	VL 2	VL 3	VL 4
Putkentäyttöaste	10–20 %	20–40 %	40–70 %	Yli 70 %
Kertymää	10–20 %	20–30 %	30–50 %	Yli 50 %
Muodonmuutos	Alle 10 %	10–20 %	20–40 %	Yli 40 %
Muita puutteita		Valmistusvika	Pintavaurio	Putkirikko

4.4 Vesijohdon vesinäyte

Rakennetuista vesijohdoista otetaan vesinäyte, jotta voidaan todeta veden olevan terveellistä ihmisille. Ennen näytteen ottoa täytyy vesijohdossa juoksuttaa vettä, jotta se edustaa käytettävää vettä. Näytepulloina tähän ei saa käyttää omia astioita vaan laboratoriosta haettuja näytepulloja, koska omiin astioihin on voinut

pesusta huolimatta jäädä yhdisteitä tai bakteereja, jotka vaikuttavat tutkimustulokseen.

Näytteen ottamisessa on erittäin tärkeää, ettei kosketa käsillä näytepullon tai korin sisäpintaan. Vettä lasketaan näytettä ottaessa vähintään 5 min jotta voidaan varmistua, ettei näytteeksi tule seisonutta vettä. Kun vesinäyte on otettu, se tulee toimittaa laboratorioon mahdollisimman pikaisesti, näytteen oton jälkeen vähintään vuorokauden kuluessa.

Vesinäytteestä tutkitaan laboratoriossa *escherichia coli*, heterotrofinen pesäkeluku, kolimuotoiset bakteerit ja suolistoperäiset enterokokit. Näiden raja arvot ovat lailla säädelyjä ja ne löytyvät tästä asetuksesta: Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus talousveden laadusta ja valvonnasta sekä rakennusten vesilaitteistojen riskienhallinnasta.

Jos vesinäytteessä havaitaan bakteereja ja muita epäpuhtauksia, voidaan yrittää huuhdella vesijohtoa lisää mutta jos tämä ei auta, niin vesijohtoon täytyy tehdä desinfiointi. Vesijohto desinfioidaan kalsiumhypokloriitilla, joko tabletteina tai rakein tai nestemäisellä natriumhypokloriitilla.

Desinfiointin jälkeen putki tyhjennetään ja huuhdotaan vesijohtoverkon vedellä putkikoon mukaan ainakin 10 minuutin ajan kloorin jo poistuttua putkesta. Desinfioitavaan johto-osaan liittyvät uudet tonttivesijohdot desinfioidaan samanaikaisesti juoksuttamalla osa klooripitoisesta vedestä niiden kautta.

Putki täytetään vesijohtoverkon vedellä ja kloorikemikaalin annostus järjestetään niin, että veden klooripitoisuus on noin 10...50 mg/l.

Klooriliuos jätetään putkeen vähintään 1 vrk:n, mielellään 3 vrk:n ajaksi. Tämän ajan jälkeen vesi sisältää koko desinfiotavassa johdossa 5...25 mg/l vapaata klooria. Klooripitoisen huuhteluveden poisjohtaminen tehdään erillisen suunnitelman mukaisesti.

Vesijohdon desinfioimisen aikana johto-osa ei ole yhteydessä käytössä olevaan verkkoon. Tonttivesijohtojen sulkuventtiilit ovat suljettuina. Liitetyille kiinteistöille ilmoitetaan desinfioinnin suorittamisesta ja mahdollisesta tonttivesijohtojen huuhtelutarpeesta.

Putkesta otetaan käyttöönottonäyte desinfiointituloksen varmentamiseksi. Näyte tutkitaan hyväksytyssä vesilaboratoriossa, joka ilmoittaa vesinäytteen analyysitulosten perusteella desinfioinnin hyväksymisestä. Mahdollinen uusintadesinfiointi tehdään vesilaboratorion antamia erityisohjeita noudattaen.

Huuhtelun päättyessä klooripitoisuus saa olla enintään 0,2 mg/l, ellei vedenkäsittelylaitokselta johdettavassa vedessä ole tätä suurempaa klooripitoisuutta. (32.)

4.5 Vesijohdon painekoe

Vesijohtojen painekokeella varmistetaan, että vesijohdon materiaali ja liitokset ovat riittävän kestäviä ja vesijohdolla on riittävä tiiveys. Painekoe täytyy tehdä vesijohdolle ennen vesijohdon käyttöönottoa.

Ennen vesijohdon painekokeen ottamista täytyy varmistua, ettei vesijohdossa ole ilmaa, joka vääristää painekokeen tuloksia ja kaikki haarat, kulmat sekä vapaaksi jäävät putken päät ovat asianmukaisesti tuettuja. Ilma poistetaan vesijohdosta juoksuttamalla vettä vesijohdon läpi. Vesijohto täytyy myös venyttää, joka usein tapahtuu paineistamalla vesijohtovedellä vähintään yhdeksi vuorokaudeksi käyttöpaineeseen. Jos vesijohtokaivantoon ei ole tehty lopputäyttöä niin kaivannossa ei saa työskennellä, kun vesijohto on paineistettu koetta varten.

Itse painekokeeseen tarvitaan painemittari, tehokas painepesuri tai muu tapa saada paineistettua vettä vesijohtoon, vesimäärämittari tai muu tapa millä voidaan seurata käytettyä vesimäärää. Painekokeen alussa johto-osuuden vedenpaine nostetaan koeylipaineeseen 10 kPa varsinaista aloituskoepainetta suuremmaksi ja pidetään tällä tasolla riittävän kauan putken mahdollisten muodonmuutosten aikaansaamiseksi ennen varsinaisen kokeen alkua. Paineen annetaan

tämän jälkeen laskea valittuun koepainearvoon, jolloin aloitetaan varsinainen paineen aleneman tarkkailu. Vesijohdon aloituskoepainearvo on 1,3 kertaa ko. vesijohtolinjan nimellispaine. Paineen alenemaa seurataan 30 min ajan. Paineenmuutoksesta pidetään pöytäkirjaa tänä aikana.

Vesijohdon vesipainekokeena tehdyn tiiviyskokeen tulos on hyväksyttävä, kun paine vakiintuu enintään 20 kPa kokeen aloituspaineen alapuolelle. Jos paineen alenema on suurempi tai jatkuu koko tarkkailujakson (30 min) ajan, nostetaan paine koepainearvoon pumppaamalla lisävettä putkeen. Tarvittavan lisävesimäärä (Q) on alle sen vesimäärän, joka saadaan kaavasta $Q [l/km] = (0,01 \times d) \times 0,5$, jossa d on putken sisähalkaisija millimetreinä. Putkilla $DN \leq 50$ sallittu lisävesimäärä on kuitenkin 0,1 litraa/km.

Jos koestettavassa johdossa on useita liittymiä tai venttiileitä, hyväksytään edelliseen nähden puolitoistakertainen vuotovesimäärä. (32.)

4.6 Katutyömaan turvallisuus

4.6.1 MVR-mittari

MVR-mittari on maa- ja vesirakennustyömaiden turvallisuustason arviointi- ja kehittämistyökalu. MVR-mittari perustuu silmämääräiseen havainnointiin ja se on hyväksytty lakisääteisen viikoittaisen kunnossapitotarkastuksen välineeksi. Mittarin käyttö edellyttää työturvallisuus asioiden tuntemusta ja se mittaa kaikki merkittävät MVR-työmaan turvallisuustekijät, joita on mahdollista havainnoida silmämääräisesti. Nämä turvallisuustekijät on jaoteltu viiteen pääryhmään, joiden havainnoinnista on omat ohjeet.

- Työskentely ja koneenkäyttö
- Kalusto
- Suojaukset ja varoalueet
- Ajo- ja kulkuväylät

- Järjestys ja varastointi.

MVR-mittaria käytetään tekemällä havainnointikierron työmaalla. Havainnointikierron alku jakamalla työmaa osiin, jotka pystytään tarkastamaan yksikerrallaan kokonaisuudessaan ennen seuraavalle alueelle siirtymistä. Usein alue valitaan niin, että se pystytään tarkistamaan yhdestä paikasta kokonaan. Havaitun alueen valitsemisen jälkeen alue tarkistetaan lomakkeen mukaisessa järjestyksessä. Tarkistuksessa kirjataan asiat, jotka on tehty oikein tai väärin. Kierroksen jälkeen kaikki oikein- ja väärin-havainnot sijoitetaan seuraavaan kaavaan.

$$\frac{\text{oikein havaintojen määrä}}{\text{oikein} + \text{väärin havaintojen määrä}} \times 100$$

Tästä kaavasta saadaan tulokseksi turvallisuusindeksi, jonka yksikkö on prosentti. Tämä turvallisuusindeksi kuvaa, minkä verran mitattavista asioista on kunnossa.

On tärkeää, että MVR-mittarissa huomioidaan oikein asiat, jotta voidaan antaa positiivista palautetta, joka motivoi kehittämään työtapoja. (33) (34) (35)

4.6.2 Perehdyttäminen

Perehdyttäminen on tärkeä osa työturvallisuutta katutyömaalla, sillä perehdyttämällä voidaan varmistua, että työntekijät ovat tietoisia työmaan yksilöllisistä riskeistä ja turvallisuuskäytännöistä. Perehdytyksessä myös varmistetaan, että työntekijöiltä löytyy tarvittavat koulutukset työn tekemiseen turvallisesti kuten tieturva- ja työturvakoulutukset. Perehdytyslomakkeet tallennetaan urakoitsijalle itselleen ja tilaajalle, jotta molemmat osapuolet pystyvät olla varmoja lakisääteisten vaatimusten täyttymisestä. (36.)

Usein perehdytykseen tulee tilaajalta valmis pohja, johon kirjataan perehdytyksessä käydyt asiat, mutta jos tilaaja ei sitä toimita voi lomakkeen tehdä itse, kun se sisältää seuraavat asiat ja se on hyväksytetty tilaajalla.

1. Perehdytettävän työntekijän tiedot
2. Työkokemus, tarvittavat koulutukset ja niiden voimassaoloajat
3. Työmaan tiedot
4. Turvallisuuskäytännöt
5. Työmaan erityispiirteet
6. Perehdyttäjän tiedot
7. Allekirjoitus, joka toimii näyttönä siitä, että henkilö on saanut perehdytyksen ja kirjatut tiedot ovat oikein.

4.7 Valokuvaus laadunvalvonnassa

Laadunvalvontaan kuuluu suurena osana valokuvaus, jolla pystytään näyttämään rakenteet tilaajalle. Valokuvattavista kohteista on usein tilaajan mukaan erilaiset ohjeistukset, jonka takia on tärkeää varmistaa tilaajalta sekä sopimuspaperista mitä urakkaan on ohjeistettu. Yleisiä ohjeita, mistä kuvia kannattaa ottaa on suunnitelmapoikkeamat, lisätyöt, laadunalitukset, myöhemmin esille kaivettavat rakenteet sekä vesijohdon venttiili- ja haarakohdista.

Valokuvat kannattaa nimetä selvästi, jolloin niiden löytäminen on helpompaa myöhemmässä vaiheessa. Jos mahdollista saada valokuvaan sijaintitieto niin sen käyttäminen on myös hyödyllistä.

5 Itselle luovutus

Ennen urakan luovutusta tilaajalle tarkistetaan työn laatu ja korjataan puutteet eli tehdään itselle luovutus. Vaatimus tähän tulee YSE 98:n kautta. Itselle luovutuksesta tehdään pöytäkirja, joka voidaan tarvittaessa liittää varsinaisen luovutuksen pöytäkirjaan. Tilaajan kanssa käydään luovutuksen yhteydessä työmaakierros ja tilaaja käy läpi laatukansion ja tekee näiden perusteella puutelistan. Tilaajan ja urakoitsijan välisen luovutuksen puutelistan mukaiset työt tehdään määräaikaan mennessä ja pidetään uusi tarkastus. Työmaan taloudellinen loppuselvitys, missä käydään läpi laskutetut määrät, lisätyöt ja määrämuutokset ennen työmaan luovutusta. Ennen takuuajan päättymistä sovitaan rakennuttajan kanssa katselmus, missä käydään läpi takuuajana havaitut mahdolliset puutteet ja virheet. Korjauksille sovitaan aikataulu ja sovitaan takuutarkastukselle ajankohta.

6 Laadunvalvonnan hyödyt katutyömaalla

6.1 Ennaltaehkäisevä vaikutus virheiden vähentämisessä

Monet rakennusvirheet johtuvat tiedon tai taidon puutteesta. Katutyömaalla samat työvaiheet toistuvat useita kertoja työmaan aikana, mikä valitettavasti tarkoittaa myös virheiden toistumista. Kun virheitä havaitaan, on olennaista selvittää niiden syyt ja korjata prosessiketju siten, ettei vastaavaa virhettä pääse tapahtumaan uudelleen. Vaikka prosessiketju olisi korjattu, on silti tärkeää valvoa työtä varmistaakseen, etteivät virheet palaa rutiininomaisesti. (37.)

6.2 Kustannusten ja aikataulun hallinta

Virheiden korjaaminen on aina ylimääräistä työtä, joka lisää suoraan kustannuksia ja saattaa aiheuttaa aikataulun viivästymisiä.

Katuja rakennetaan prosessi kerrallaan alhaalta pintaa kohti, jos virheitä ei huomata aikaisessa vaiheessa syntyy usein korjaamisesta usean rakennusvaiheen purkaminen ja korjaaminen. Tämä voi johtaa suurempiin kustannuksiin ja aikataulun viivästymiseen. Tämän vuoksi virheiden varhainen havaitseminen on avainasemassa. Tällä tavalla voidaan vähentää sekä kustannuksia että aikataulun viivästymistä.

7 Pohdinta

Katutyömaalla tulee usein virheitä ja tarkistamalla työtehtävien laadun oikeaan aikaan säästyy monelta ongelmalta ja ongelmien löytyessä aikaisessa vaiheessa virheen syy on tärkeää selvittää, jotta virhe ei käy uudelleen saman työprosessin toistuessa. Virheiden havaitsemiseen tarvitaan asianmukaista kokemusta ja valvontaa, tämän takia on hyvä, että vastaavalta mestarilta vaaditaan urakoihin kokemusta ja asiaan kuuluva koulutus.

Tässä työssä olen kuvannut laadunvalvontatapoja, jotka ovat tulleet jokaisella kadunrakennustyömaalla vastaan, mutta katutyömailla tehdään usein näiden lisäksi muita töitä, jotka vaativat erilaisia laadunvalvonta tapoja. Näitä töitä voivat olla esimerkiksi betonointityöt, suuntaporaukset, räjäytystyöt, painopenkereet ja monet muut. Tämän takia on erityisen tärkeää tutustua työmaa asiakirjoihin ja tehdä asianmukainen laadunvalvonta suunnitelma jokaisesta työmaasta.

Tulevaisuudessa uskon, että laadunvalvonnalta vaaditaan laajempaa aineistoa ja 3D-mallinnus tulee olemaan isompi osa laatuaineistoa. Jo tällä hetkellä on paljon uutta teknologiaa, jolla voidaan tehostaa laatumittauksia kuten ilmakuvaukset ja pistepilviaineistojen luominen. Nämä ja päästöihin liittyvät laatuasiat tulevat mielestäni lisääntymään paljon siinä kohtaa, kun tilaajan taholta näitä vaaditaan suunnitelma-asiakirjoissa.

Lähteet

1. Kontukujan puiden kaato, Kuvaaja Matias Huhta 12.12.2023
2. InfraRyl 2023/2 16000 Maanleikkaukset ja -kaivannot, Luettu 24.3.2024.
3. Kevyenliikenteenväylän maanleikkaus, Kuvaaja Matias Huhta 12.3.2024
4. InfraRyl 2023/2 18310 Asennusalustat, Luettu 24.3.2024.
5. InfraRyl 2023/2 31000 Vesihuollon järjestelmät, Luettu 24.3.2024
6. InfraRyl 2023/2 31100.4 Valmisjätevesiviemäri, Taulukko 31100:T8 Viettoviemäriin sallitut kaltevuuspoikkeamat, Luettu 24.3.2024
7. InfraRyl 2023/2 2110 Suodatinkerrokset, Luettu 24.3.2024
8. Rakeisuustaulukko suodatinkerrokselle. Infraryl 2023/2 2110.1 Suodatinkerroksen materiaalit
9. InfraRyl 2023/2 2120 Suodatinkankaat, Luettu 24.3.2024
10. InfraRyl 2023/2 Liite 11 Puolueettoman laitoksen geotekstiilien ja vastaavien tuotteiden tuotesertifiointijärjestelmä NorGeoSpec, Luettu 24.3.2024
11. InfraRyl 2023/2 21210 Jakavat kerrokset, luettu 24.3.2024
12. InfraRyl 2023/2 21210.4 Valmis jakava kerros, taulukko 21210:T6 Jakavan kerroksen sallitut poikkeamat, Luettu 24.3.2024
13. InfraRyl 2023/2 Liite T2 Katuluokat (Liite T3 2017/1 julkaisussa), Luettu 24.3.2024
14. InfraRyl 2023/2 21310 Sitomattomat kantavat kerrokset, Luettu 24.3.2024
15. <https://vayla.fi/-/tiesitko-teissa-on-monia-kerroksia-ja-niilla-kaikilla-on-oma-tarkoituksensa> , Luettu 24.3.2024
16. https://www.pank.fi/wp-content/uploads/2023/11/PANK_Yleinen-tyo%CC%88selostus_ma%CC%88a%CC%88ra%CC%88mit-tausohje_2023.pdf , Luettu 24.3.2024
17. InfraRyl 2023/2 21410 Sidotut päällysrakenteet , Luettu 24.3.2024
18. InfraRyl 2023/2 21430 Ladottavat pintarakenteet, Luettu 24.3.2024
19. Kuljuntien kiertoliittymän asfaltointi, Kuvaaja Matias Huhta 10.11.2023
20. Saikan alueen infran rakentaminen projektin tyyppipoikkileikkaus, Suunnittelija Rambol Oy, tilaaja Lempäälän kunta
21. InfraRyl 2023/2 Liite 2 Kerrosrakenteiden tiivistystyön ja tiiviydentarkkailun menetelmät, Luettu 24.3.2024

22. <https://www.al-engineering.fi/fi/loadman.html>, Luettu 24.3.2024
23. <https://koneporssi.com/maa-ja-metsatalous/mobilisoitua-kantavuusmit-tausta/>
24. <https://www.al-engineering.fi/fi/loadman.html>
25. <https://www.roadmasters.fi/palvelut/levykuormituskoheet>, Luettu 24.3.2024
26. <https://www.al-engineering.fi/fi/loadman.html>
27. <https://novatron.fi/en/systems/site-management/xsite-pad/>
28. <https://geotrim.fi/tuotteet/takymetrit/robottitakymetri-s5/>
29. Hirvialhonkadun putkikuvaus aineisto, Hurrikaanit Oy
30. Hirvialhonkadun putkikuvaus aineisto, Hurrikaanit Oy
31. Vesi- ja viemäriulaitosyhdistyksen viemäreiden TV-kuvauksen tulkintaohje, Suomen vesilaitosyhdistys, julkaisija; kirjoittaja Bäckman, Hans
32. InfraRyl 2023/2 31300 Vesijohdot, Luettu 24.3.2024
33. https://www.rt.fi/globalassets/infra/tyoturvallisuus/mvrmittari2017/mvr-mittari_fi_a5_24092017-1_web.pdf, Luettu 24.3.2024
34. <https://www.rt.fi/INFRA/tietoa-alasta/Tyoturvallisuus/Turvallisuusmittarit/>, Luettu 24.3.2024
35. <https://www.tyosuojelu.fi/tyosuojelu-tyopaikalla/tyoolosuhdemittarit/mvr-mittari>, Luettu 24.3.2024
36. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738>, Luettu 24.3.2024
37. https://fise.fi/wp-content/uploads/2018/03/Kuntatekniikka-1_2018.pdf, Luettu 24.3.2024