

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Infratekniikka

Alexi Valkonen

Mallipohjainen tiivistäminen väylähankkeissa

Opinnäytetyö 2018

Tiivistelmä

Aleksi Valkonen

Mallipohjainen tiivistäminen väylähankkeilla, 30 sivua

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Infratekniikka

Opinnäytetyö 2018

Ohjaajat: lehtori Eija Mertanen, Saimaan ammattikorkeakoulu ja kehityspäällikkö Mika Jaakkola, Destia Oy

Tässä opinnäytetyössä esitellään mallipohjaisen tiivistysmenetelmän periaatteita, toimintatapaa ja eroja perinteiseen tiivistämiseen. Työn tavoitteena oli kuvailla mallipohjaisen tiivistämisen toimintaa ja käyttökohteita sekä pohtia sen hyötyjä ja haittoja. Työ perustuu urakoitsijan näkökulmaan. Työn tilaajana toimii Destia Oy.

Opinnäytetyön aineiston keräämiseen on käytetty tiivistykseen liittyvää kirjallisuutta, internet lähteitä, Vt14 Laitaatsalmi -hankkeen henkilökunnan haastatteluja ja omia käyttökokemuksia. Aihe on rajattu sitomattomien rakenteiden tiivistykseen.

Opinnäytetyössä tuodaan esille parannusehdotuksia, joilla mallipohjaisesta tiivistysmenetelmästä saataisiin kehitettyä toimivampi ja luotettavampi. Työ antaa laajan kuvan perinteisestä tiivistystyöstä ja laadunvarmistusmenetelmistä.

Asiasanat: koneohjaus, tietomalli, tiivistys

Abstract

Aleksi Valkonen

Datamodel based compaction in roadprojects, 30 pages

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Civil and Construction Engineering

Infrastructure

Bachelor´s Thesis 2018

Instructors: Mrs Eija Mertanen, lecturer, Saimaa University of Applied Sciences
and Mr Mika Jaakkola, development manager, Destia oy

This thesis explains datamodel based compaction method basics, way of acting and differences compared to classic compaction. Priority of this thesis was describe datamodel based compactions action and ideal projects where to use this method. Also considering benefits and harms was one of this studys aim. Study is based to viewpoint of contractor. Commission of this thesis came from Destia Oy.

Material of this thesis was gathered from literature connected to compaction, internet sources, interviewing Vt14 Laitaatsalmi -projects staff and using my own user experience. Topic only handles compaction of bindless structures.

This thesis introduces suggestions about making the system better and more reliable. Study creates a large view of classic compaction works and traditional quality controlling methods.

Keywords: machine control, datamodel, compaction

Sisällys

1	Johdanto	5
2	Tiivistäminen.....	6
2.1	Tiivistyksen merkitys.....	6
2.2	Tiivistystyö	6
2.3	Tiivistysmenetelmät	8
3	Koneohjauksen toiminta ja käyttäminen	9
3.1	Koneohjausmalli	9
3.2	Mallipohjaisen tiivistämisen prosessi	10
3.3	Koneohjatun jyrän toiminta	11
4	Käyttökohteet.....	16
5	Laatuvaatimukset.....	16
5.1	Louhepenkereet.....	16
5.2	Suodatinkerrokset.....	17
5.3	Jakavat kerrokset.....	17
5.4	Kantavat kerrokset.....	18
5.5	Mallipohjaisen laadunvarmistuksen käyttöönoton edellytykset	19
6	Laadunvarmistus	20
6.1	Perinteiset laadunvarmistusmenetelmät.....	20
6.2	Perinteinen laadunvarmistus.....	24
6.3	Mallipohjainen laadunvarmistus.....	25
7	Pohdinta.....	25
	Lähteet.....	29

1 Johdanto

Tiivistäminen on väylähankkeissa oleellinen osa tuotteen käyttöikä. Huolellisella kantavien maarakenteiden tiivistämisellä varmistetaan niiden toimivuus ja kestävyys suunnitellulla tavalla.

Mallipohjaisessa rakentamisessa käytetään kolmiulotteisia rakennemalleja, joita hyödynnetään lähes jokaisessa maa- ja väylärakentamisen työvaiheessa. Paikannettavien työkoneiden ansiosta perinteinen maastossa tapahtuva rakenteiden paikalleenmittaus on vähentynyt ja mittamiesten työpanoksen painopiste on siirtynyt mallien luontiin, päivityksiin sekä työkoneiden mittaustarkkuuden ylläpitoon ja kalibrointiin.

Tiivistyksessä käytettävä koneohjausjärjestelmä poistaa arvailut rakenteen tiiveyden suhteen ja auttaa käyttäjää saavuttamaan halutun tiiveystuloksen koko tiivistettävältä alueelta. Järjestelmän avulla käyttäjä pystyy optimoimaan tiivistyskertojen määrän. Tällä työmenetelmällä säästetään aikaa ja työkustannuksia ja saavutetaan kuitenkin tasalaatuinen lopputulos.

Destia Oy:n hankkeella Vt14 Laitaatsalmen kohta oli kokeilussa Trimble CCS 900, SITECH Finland koneohjausjärjestelmä asennettuna HAMM:n valssijyrään. Kokeilun tarkoituksena oli tuottaa kattavampaa tietoa rakenteen tiiveydestä ja kantavuudesta. Mallipohjaisella tiivistämisellä on myös mahdollista välttyä ylimääräiseltä tiivistämiseltä ja reagoida ongelmiin välittömästi. Tavoitteena on myös kehittää laadunvarmistusta tallentavalla tiiveysmittarilla. Kokeilussa vertailtiin perinteisiä keinoja ja mallipohjaista laadunvarmistusta.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tuoda esille mallipohjaisen tiivistämisen toimintaa, käyttömahdollisuuksia erilaisilla hankkeilla sekä hyviä ja huonoja puolia urakoitsijan näkökulmasta.

2 Tiivistäminen

Väylähankkeissa rakennekerroksien vaadittu laatu saavutetaan seuraavilla asioilla: tiivistysmenetelmän valinta ja yliajokertojen määrä kyseisellä menetelmällä, rakennussuunnitelmien mukaiset materiaalit, veden käyttö ja kerroksittain tiivistäminen. Rakenteissa käytettävien materiaalien täytyy olla CE-merkittyjä tai tutkitusti kelpaavia.

2.1 Tiivistyksen merkitys

Maa- ja kiviaineksilla tehdyn rakenteen kestävyys ja pitkäikäisyys vaikuttaa hyvin paljon se, miten hyvin rakenne on tiivistetty. Huonosti tiivistetty rakenne tiivistyy ajan kuluessa ulkoisten rasitusten, kuten raskaan kuormituksen, kosteusvaihteluiden ja värinän vaikutuksista. Tiivistymisen aiheuttama kokoonpuristuminen on suurimmillaan heti rakentamisen jälkeen ja se hidastuu ajan kuluessa rakenteen parantuneen kantavuuden vuoksi. Huonosti tiivistetyn rakenteen muodonmuutokset ilmenevät sen pinnalle ilmestyvistä painumista. (InfraRYL 2010, 249)

2.2 Tiivistystyö

Täyttöjen rakentamisessa on tärkeää toteuttaa täyttäminen ja tiivistäminen riittävän ohuina kerroksina. Rakennettavien kerrosten paksuus riippuu täyttömateriaalista ja käytettävästä tiivistyskalustosta. Tiivistystyössä tärkeää on myös rakenteen kasteleminen. Tiivistystyön määrästä eri rakennekerroksille on annettu ohjearvoja yliajokertoina, mutta urakoitsija vastaa silti tiivistystyön lopullisesta laadusta.

Veden käyttö tiivistystyössä on todella tärkeää. Jos tiivistettävän kerroksen ja optimivesipitoisuuden ero on yli 4 %-yksikköä, on todennäköistä, että kerros ei saavuta 95 %:n tiiviysastetta. Jos halutaan päästä 90 %:n tiiviysasteeseen, ei optimivesipitoisuuden ja tiivistettävän kerroksen vesipitoisuuden ero saisi olla enempää kuin 6 %-yksikköä. (InfraRYL 2010, 248) Taulukossa 1 on esitetty tiivistyskertojen määrä vesipitoisuuden ollessa lähellä optimiarvoa.

Tiivistyskone	Massat	Tiivistyskertamäärän ohjearvo															
		Suodatin-/eristyskerros		Jakava kerros/välikerros		Kantava kerros		Tien tai kadun alusrakenne H ¹⁾ ≤ 30			Tien tai kadun alusrakenne H ¹⁾ > 30			Louhe		Radan pengertäyttö	
Kerrospaksuus enintään, m		0,25	0,5	0,25	0,4	0,2	0,3	0,25	0,5	0,8	0,25	0,5	0,8	0,8	1,0	0,4	0,8
Täryjyrät ²⁾																	
1 täryvalssi	> 5	4	7	5 ¹²⁾	8 ¹²⁾	6 ¹²⁾	9 ¹²⁾	3	6	11	3	6	11	5 ¹³⁾	7 ¹³⁾	5	5
2 täryvalssia	> 5	3	4	3	5	3	6	2	4	8	2	4	8	—	—	—	—
Kumipyöräjyrät ³⁾	< 20 ⁴⁾	6	—	8	—	10	—	6	—	—	6	—	—	—	—	—	—
	> 20 ⁵⁾	4	8	6	12	8	12	4	8	14	3	6	11	—	—	10	—
Staattiset valssijyrät ⁶⁾	> 10	—	—	—	—	10	—	7	—	—	7	—	—	—	—	—	—
Pyöräkuormaajat ⁷⁾	> 40	—	—	—	—	—	—	4	8	14	3	7	13	—	—	—	—
Puskutraktorit ⁸⁾	> 10	—	—	—	—	—	—	4	—	—	6	—	—	—	—	—	—
Sorkkajyrät ⁹⁾	7...10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10 ⁹⁾	10 ⁹⁾	—	—	—	—	—
Tärylevyt ¹¹⁾	> 0,2	4	—	5	—	5	—	3	—	—	4	—	—	—	—	—	—
	> 0,4	3	—	4	—	4	—	3	—	—	3	—	—	—	—	—	—

Taulukko 1 Tiivistyskertojen ohjearvot vesipitoisuuden ollessa lähellä optimiarvoa (InfraRYL 2010, 249)

Veden käyttö vähentää rakennekerroksen rakeiden välistä kitkaa, minkä vuoksi kerros tiivistyy paremmin. Kastelemista kovalla vedenpaineella tulisi välttää, koska hienoaines irtoaa pinnasta veden mukaan ja valuu kerroksen pohjalle. Vaihtoehtoisesti rakenteen pinta voidaan aluksi jyrätä ilman vettä, jonka jälkeen hienoaines ei pääse valumaan veden mukana tiivistetyn pinnan läpi. (InfraRYL 2010, 249)

Tiivistettävän kerroksen paksuus valitaan kyseessä olevan materiaalin ja käytössä olevan kaluston mukaan. Jokainen kerros tiivistetään niin, että se saavuttaa vaaditun laadun. Liiallinen tiivistäminen voi aiheuttaa rakenteen löyhtymistä (InfraRYL 2010, 248)

Tiivistystyö on suunniteltava aina ennen työn suorittamista. Suunnitelma-asiakirjoissa esitetään rakenteen tiiviys- ja kantavuusvaatimukset. Rakentamisen käsi- kirjoissa annetaan ohjeelliset kerros- ja yliajokertojen määrä kullekin tiivistyskoneelle. Näiden perusteella urakoitsija valitsee sopivimman tiivistyskaluston ja menetelmän, jolla saavutetaan vaadittu lopputulos. (InfraRYL 2010, 249)

2.3 Tiivistysmenetelmät

Maan tiivistyksessä voidaan käyttää useita erilaisia työkoneita: isoja ja pieniä tärylevyjä, erikokoisia valssijyriä, täryjunttia ja konejunttia. Väylähankkeilla useimmiten käytetään erikokoisia tärylevyjä ja valssijyriä.

Kuvassa 1 oleva tärylevy on käytännöllinen pienen kokonsa ansiosta putki- ja johtokaivannoiden täytöissä, sekä muissa kohteissa missä liikkumistilaa on rajoitetusti. Tärylevyjä on saatavilla 50 - 500 kg:n painoisina. Vaikka tärylevyt ovat painoltaan hyvin kevyitä verrattuna esimerkiksi valssijyriin, ovat ne hyvin tehokkaita pienen kosketuspinta-alan ansiosta. (Rakennuskone 2018a)



Kuva 1 Tärylevy 170 kg (Rakentaja 2018)

Täryperiaatteella toimivat tiivistyskoneet siirtävät liike-energiaa dynaamisesti maaperään. Koneen staattinen paino korostuu täryominaisuudesta, joka lisää tiivistystehoa (Rakennuskone 2018a).

Kun tiivistettävää pinta-alaa on paljon, on kuvassa 2 esiintyvä valssijyri yleisin. Valssijyrissä valssin amplitudi, eli lyöntiteho on säädettävissä. Myös lyöntitaajuutta voidaan säätää. Näiden ominaisuuksien ansiosta valssijyrillä on hyvä tiivistää eri rakenteita ja kerrospaksuuksia. Väylähankkeilla käytettävien valssijyrien painot ovat asteikolla 10 - 25 t. Mallipohjaista tiivistysmenetelmää ei ole vielä kehitetty muihin tiivistyslaitteisiin kuin valssijyriin.



Kuva 2 valssijyrä (Rakennuskone 2018b)

Staattisen tiivistysmenetelmän yleisin kone on kuvassa 3 oleva kumipyöräjäyrä. Toimintaperiaate perustuu koneen staattiseen massaan. Mitä suurempi massainen kone ja mitä pienempi kosketuspinta-ala koneella on, sitä tehokkaampi tiivistysvaikutus koneella on. Staattisen tiivistysperiaatteen omaavalla koneella on heikompi tiivistysteho, kuin täryperiaatteisilla koneilla. (Rakennuskone 2018b)



Kuva 3 Kumipyöräjäyrä (Rakennuskone 2018b)

3 Koneohjauksen toiminta ja käyttäminen

3.1 Koneohjausmalli

Koneohjausmalli tarkoittaa koneohjausjärjestelmälle oikeaan tiedostomuotoon muokattua kolmiulotteista suunnitelmaa. Mallit tehdään rakennussuunnitelmien

pohjalta, ja ne sisältävät kaiken tiedon, mitä työmaa tarvitsee. Suunnittelijalta tuleva koneohjausmallin aineisto ei aina ole valmis työmaan käyttöön. Aineistosta täytyy poistaa päällekkäiset viivat, ylimääräiset pisteet ja tarkastaa suunnitelmien liittymiskohtien virheettömyys. (Ruotsalainen 2018.)

Koneohjausmalli voi olla pintamalli, viivamalli tai pistetietoa. Viivamalleja käytetään muun muassa putkikaivannoissa ja pistetietoa esimerkiksi valaisimien ja liikennemerkkien paikkoina. Mallipohjaisessa tiivistämisessä koneohjausjärjestelmä tarvitsee tiivistettävästä kerroksesta ja alueesta pintamallin, joka sisältää rakenteen yläpinnan paikkatiedon ja korkeusaseman. (Ruotsalainen 2018.)

Koneohjausmallin luomiseen on tehty yksityiskohtaiset vaatimukset ja ohjeistus. Vaatimukset kattavat koko mallin luomisprosessin. Niissä käsitellään mm. ohjelmistot ja formaatit, mittayksiköt ja koordinaatistot, standardit ja ohjeet, infra-nimikkeistöjärjestelmä, mallintamisen suunnittelu, mallin nimeäminen, tietomalliselostus, mallin tarkkuus, laadunvalvonta sekä luovutettava aineisto ja sen julkaiseminen. (Building Smart 2015a.)

Lähtökohtaisesti suunnittelija laatii laajimmat ja eniten työtä vaativat päärakennusosien mallit. Mittamies tai koneohjauksesta vastaava henkilö työmaalla voi myös poikkileikkauksien pohjalta luoda pienempiä yksityiskohtien malleja. (Ruotsalainen 2018.)

3.2 Mallipohjaisen tiivistämisen prosessi

Jyrän ja koneohjauslaitteiden toimintaperiaatteiden perehdyttäminen kuljettajalle on tärkeä osa prosessia. Kuljettaja on vastuussa tiiveyden lopullisesta tuloksesta. Koneohjauslaite näyttää tiivistymisen etenemisen erilaisilla väreillä jyrätyistä kohdista. Järjestelmä lähettää tiiveystietoa reaaliajassa laitteen käyttöliittymälle. Tiivistymisen seurannan erilaisista menetelmistä kerrotaan tarkemmin luvussa 3.3 Koneohjatun jyrän toiminta.

Ennen valmiin rakennekerroksen päälle rakentamista on varmistettava, että peitetyvä rakenne on kartoitettu ja vaadittu tiiveys saavutettu. Koneohjauslaitteen selainpohjaisen käyttöliittymän avulla voi tarkastaa onko rakenne tiivistetty koko alueelta vaaditusti. Tiiveyskartan osoittaessa tietyn alueen heikosti tiivistyneeksi

voidaan tiivistystyö keskittää pelkästään kyseiselle alueelle. Heikommin tiivistyneillä alueilla on suositeltavaa tehdä tiiveyskokeita myös perinteisin laadunvarmistusmenetelmin.

Laadunvarmistus pystytään kattamaan laajasti jokaiselta rakennekerrokselta mallipohjaisesti. Koneohjausjärjestelmä tallentaa kaiken tiiveystiedon paikannestusti ja kyseessä oleville rakenteille. Rakenteiden tiiveys on todennettava tilaajalle suunnitelma- ja urakka-asiakirjoissa esitetyn mukaisesti. Mallipohjaisen tiivistämisen laadunvarmistus täytyy sopia erikseen tilaajan kanssa, jos sitä ei ole urakka-asiakirjoissa vaadittu. Mallipohjaista tiivistyksen seurantamenetelmää käytettäessä voidaan esimerkiksi sopia perinteisen laadunvarmistuksen mittauspisteiden vähentämisestä.

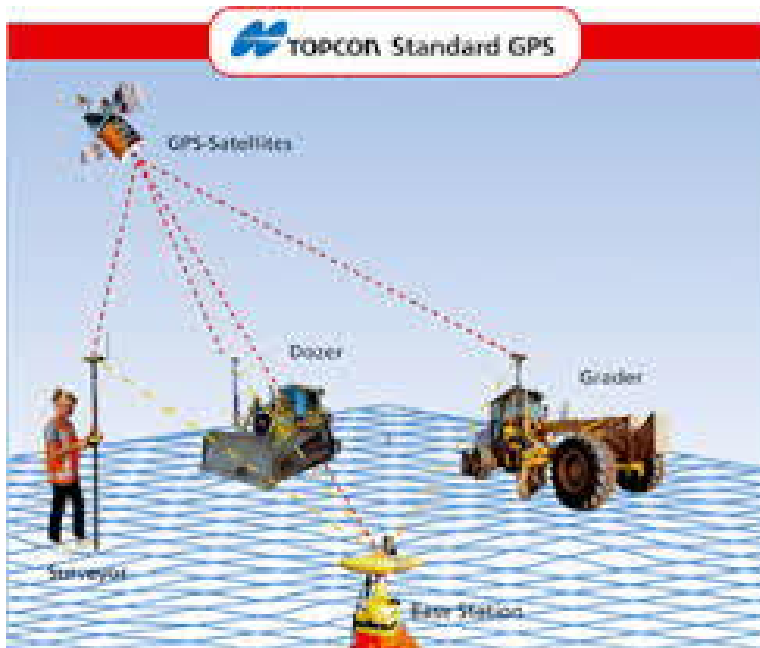
3.3 Koneohjatun jyrän toiminta

Kiihtyvyyssanturi, paikannin ja näyttö ovat koneohjatun jyrän oleelliset varusteet. Kiihtyvyyssanturi sijaitsee jyrän etuakselin jommallakummalla sivulla. Se mittaa valssin lyöntiä jatkuvatoimisesti (Laukkanen, Halonen & Pyy 2012). Kiihtyvyyssanturin sijainti on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4 Kiihtyvyyssanturi valssijyrään kiinnitettynä (Laukkanen, Halonen & Pyy 2012)

Jyrän paikantaminen tapahtuu GNSS-järjestelmällä (Global Navigation Satellite System). Se perustuu maata kiertävien satelliittien lähettämien radiosignaalin rekisteröintiin maan pinnalla toimivien vastaanottimien avulla. Kun vastaanotin havaitsee useamman satelliitin, se laskee sijaintinsa signaalien kulkuajoista. Paikantimen avulla jyrän sijainti ja korkeusasema tiedetään muutaman senttimetrin tarkkuudella. (Ilmatieteenlaitos 2018.) Kuva 5 havainnollistaa satelliittipaikannuksen toimintaa työmaalla.



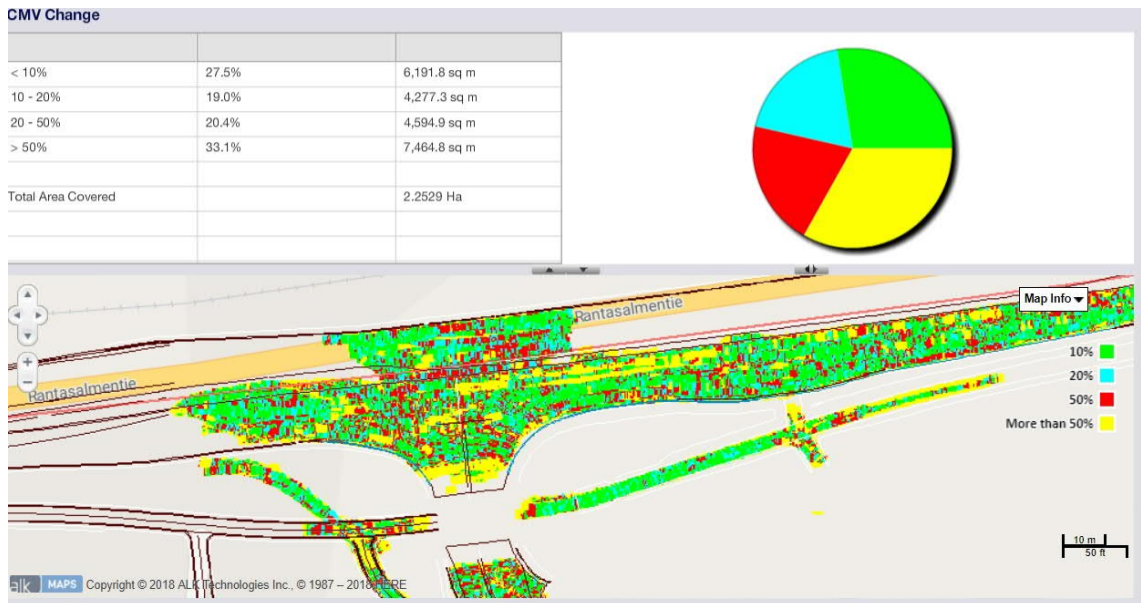
Kuva 5 Satelliittipaikannus työmaalla (Topcon 2018)

Jyrän näytöltä kuljettaja voi seurata rakenteen tiivistymistä CMV-arvon (Compaction Meter Value) muutoksena. Dynaamista jäykkyyttä kuvaavaan CMV-arvoon vaikuttaa jyräämisnopeus, ajosuunta (eteen- vai taaksepäin), amplitudiasetus ja tärytystaajuus. Vesipitoisuus vaikuttaa jäykkyyteen heikentävästi. (Dynapac 2018). Taulukossa 2 on esitetty ohjeellisia CMV-arvoja eri materiaaleille.

Materiaali	CMV
Kiviaines	40 - 200
Sora	25 - 100
Hiekka	20 - 60
Siltti	5 - 30
Savi	0 - 80

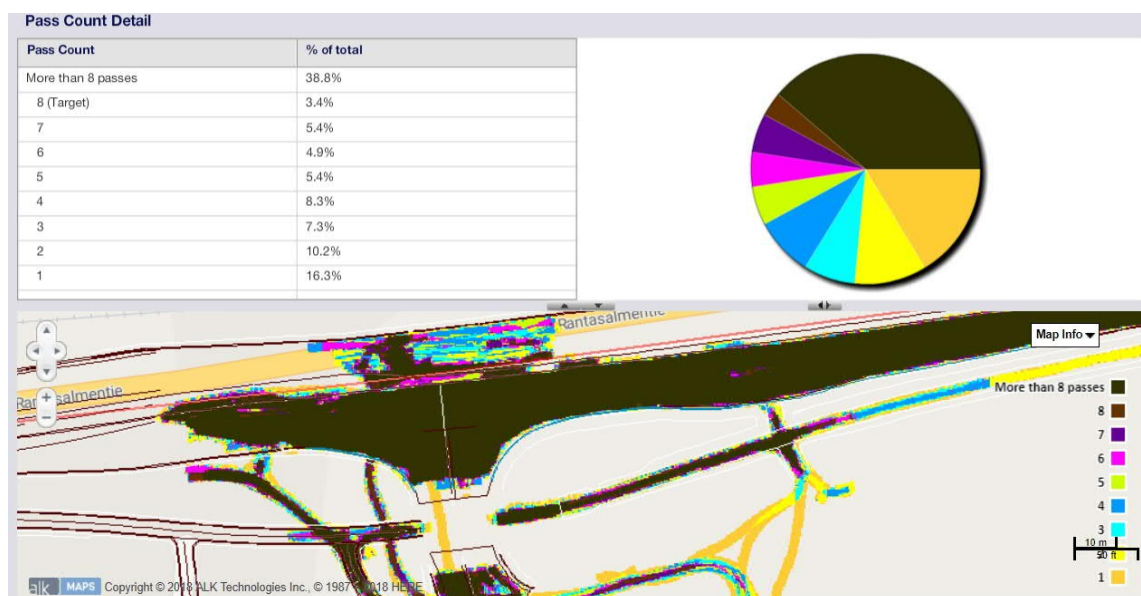
Taulukko 2 CMV-arvoja tiivistettäville materiaaleille (Dynapac 2018)

Paikantimen avulla voidaan seurata CMV-arvoa edelliseen yliajokertaan nähden. Järjestelmä tallentaa rakenteen tiiveyden jokaisesta yliajetusta kohdasta, ja laskee seuraavalla yliajokerralla muutoksen. Kuva 6 on näkymä käyttöjärjestelmän tarjoamalta sivustolta, jonne kaikki tiiveystieto tallentuu. Kyseessä on CMV-arvon muutoksen seuranta. Jyrän näytöltä voi myös vaihtaa haluttua tiivistyksen seurantamenetelmää.



Kuva 6 CMV-arvon muutoksen seuranta

Jyrän tallentama data on hyödynnettävissä laitteen selainpohjaisella käyttöliittymällä. Sieltä voi valita eri näkymiä tiivistämistyön seurannalle ja muuttaa haluttuja tiiveysvaatimuksia. Kuvassa 7 tiiveysvaatimukseksi on asetettu 8 yliajokertaa. Ruskealla värillä on esitetty kohdat, joissa asetettu vaatimus on täyttynyt. Ilman koneohjauslaitteita jyrän kuljettaja laskee itse yliajokerrat. Mallipohjaisella tiivistysmenetelmällä jyrän kuljettaja voi itse tarkistaa lopputuloksen. Siitä jää myös dokumentti työnjohdolle ja tilaajalle.



Kuva 7 Yliajokertojen seuranta

Jyrän kuljettaja voi tarkkailla näytöltä myös kuvassa 8 esiintyvää suunnitellun ja toteutuneen pinnan korkeuseroa valssin molemmilta reunoilta. Jos tiivistystyön jälkeen pinnan ja suunnitelman välillä on laatuvaatimusten ylittävä ero, saadaan tämä välittömästi tietoon. Hyvällä yhteistyöllä jyrä- ja kaivinkonekuljettajien välillä saadaan kerralla vaadittu lopputulos.



Kuva 8 Leikkaa/täytä näkymä kuvastaa toteutuneen pinnan eroa suunnitellun mukaiseen pintaan



Kuva 9 Jyrän kuljettajan näkymä. Näytöllä CMV-arvon muutos.

4 Käyttökohteet

Mallipohjaiselle tiivistämiselle paras käyttökohde on iso hanke, jossa pystyy kerralla tiivistämään suuria alueita. Aktiivisena mallina täytyy olla tiivistettävän kerroksen ja alueen malli. Jos työ suoritetaan pienissä osissa, on vaara, että mallia ei muisteta vaihtaa aina siirryttäessä eri työkohteeseen.

Tiivistettävällä materiaalilla on myös suuria eroja laitteen toimivuuden kannalta. Esimerkiksi louhepenkereellä järjestelmän tuottama tiiveystieto ei saata olla täysin oikea. Isokokoiset louheet muodostavat epätasaisen pinnan, ja tämän vuoksi jyrrä saattaa osittain lyödä tyhjää tai ”pomppia” tiivistyksen aikana. Louhetta tiivistäessä on kannattavinta seurata yliajokertojen määrää ja niiden täyttymistä ohjearvojen mukaisesti.

Raekooltaan louhetta pienempien materiaalien kanssa laite toimii hyvin. Järjestelmä osaa lukea tiiveyttä hyvin ja voidaan seurata CMV-arvon muuttumista. Esimerkiksi jakavan ja kantavan kerroksen tiivistämiseen laitteisto on erittäin hyvä.

Hanke, jossa on käytössä mallipohjainen tiivistyskalusto, vaatii ainakin yhden mittamiehen tai henkilön, joka tarpeen tullessa osaa siirtää uusia malleja koneelle, kalibroida mittaustarkkuuden tai hoitaa jonkun muun koneohjaukseen liittyvän ongelman. Koneohjausjärjestelmää voi yksinkertaisimmillaan käyttää pelkästään jyrän kuljettaja, joka seuraa yliajokertoja tai CMV-arvon muuttumista värikarttana.

Mallipohjainen tiivistäminen soveltuu työmaille, joissa muu rakentaminenkin toteutetaan koneohjausmalleja käyttämällä.

5 Laatuvaatimukset

5.1 Louhepenkereet

Louherakennetta tiivistettäessä on käytettävä riittävän tehokasta tiivistyskalustoa ja työmenetelmää siten, että suunnitelma-asiakirjoissa osoitetut tiiveys- ja kantavuusvaatimukset täyttyvät. Käytettävä kalusto ja tiivistettävä materiaali määrittävät kerralla tiivistettävän kerroksen paksuuden. (InfraRYL 2010, 254)

5.2 Suodatinkerrokset

Suodatinkerros tehdään suunnitelma-asiakirjoissa esitettyjen vaatimusten mukaisesti, käyttäen taulukon 1 mukaisia ohjeellisia yliajokertoja ja kerrospaksuuksia (InfraRYL 2010, 298).

5.3 Jakavat kerrokset

Jakava kerros tehdään suunnitelma-asiakirjoissa esitettyjen vaatimusten mukaisesti, käyttäen taulukon 1 mukaisia ohjeellisia yliajokertoja ja kerrospaksuuksia (InfraRYL 2010, 308).

Taulukoissa 3 ja 4 ilmenevä tiiviyssuhde E_2/E_1 on toisesta kuormituksesta lasketun kantavuusarvon suhde ensimmäisestä kuormituksesta laskettuun kantavuusarvoon.

Kantavuus, MPa	Tiiviyssuhde E_2/E_1
< 125	$\leq 2,2$
125 - 134	$\leq 2,3$
135 - 144	$\leq 2,4$
145 - 154	$\leq 2,5$
155 - 164	$\leq 2,6$
165 - 174	$\leq 2,7$
175 - 184	$\leq 2,8$
≥ 185	$\leq 2,9$

Taulukko 3 Levykuormituslaitteella jakavan kerroksen pinnalta mitatun tiiviyssuhteen vaatimukset (InfraRYL 2010, 309).

Kantavuus, MPa	Tiiviyssuhde E_2/E_1
< 125	$\leq 1,9$
125 - 134	$\leq 2,0$
135 - 144	$\leq 2,1$
145 - 154	$\leq 2,2$
155 - 164	$\leq 2,3$
165 - 174	$\leq 2,4$
175 - 184	$\leq 2,5$
≥ 185	$\leq 2,6$

Taulukko 4 Pudotuspainolaitteella jakavan kerroksen pinnalta mitatun tiiviyssuhteen vaatimukset (InfraRYL 2010, 309).

Suurin sallittu tiiviyssuhde E_2/E_1 on esitetty taulukoissa 3 ja 4. Jos kantavuuskokeessa E_2 -kantavuustulos täyttyy, mutta tiiviyssuhde E_2/E_1 ylittyy, on E_1 -arvo

liian pieni. Tuolloin rakenne on tiivistynyt vielä E1-arvon mittauksen aikana tapahtuneessa kuormituksessa, eli tiiviys ei ole vaadittava.

Jakavasta kerroksesta otetun yksittäisen kantavuustuloksen pienin sallittu arvo on 100 MPa. Tuloksen jäädessä alle 100 MPa, on syytä tarkistaa, johtuuko heikko kantavuus huonosta tiivistyksestä, virheellisestä materiaalista, liian ohuista rakennekerroksista, virheellisestä mitoituksesta vai mitoituksen lähtötiedoista. (InfraRYL 2010, 309)

5.4 Kantavat kerrokset

Kantavassa kerroksessa kalliomurskeen laatu voi vaikuttaa merkittävästi kantavuuteen. Hienoainespitoisuus ei saa ylittää 7 %-yksikköä ja rakeisuuden tulee täyttää standardin SFS-EN 13242 mukaiset vaatimukset, jolloin tuote saa CE-merkinnän. (InfraRYL 2010, 322)

Levykuormituskoe on työmaalla suoritettava staattinen kantavuuskoe. Levykuormituskokeessa käytettävä levy on usein 300 mm halkaisijaltaan. Kokeen syvyysvaikutus on noin 1,5-kertainen levyn halkaisijaan (Rakennuskone, 2018b). Taulukoissa 5 ja 6 on esitetty kantavan kerroksen tiiviys- ja kantavuusvaatimukset.

Kantavuus, MPa	Tiiviyssuhde E_2/E_1
< 145	$\leq 2,0$
145 ... 159	$\leq 2,1$
160 ... 174	$\leq 2,2$
175 ... 189	$\leq 2,3$
190 ... 204	$\leq 2,4$
205 ... 219	$\leq 2,5$
220 ... 234	$\leq 2,6$
≥ 235	$\leq 2,7$

Taulukko 5 Levykuormituskoelaitteella sitomattoman kantavan kerroksen pinnalta mitatun tiiviyssuhteen vaatimukset (InfraRYL 2010, 322).

Kantavuus, MPa	Tiiviyssuhde E_2/E_1
< 145	$\leq 1,7$
145 - 159	$\leq 1,8$
160 - 174	$\leq 1,9$
175 - 189	$\leq 2,0$
190 - 204	$\leq 2,1$
205 - 219	$\leq 2,2$
220 - 234	$\leq 2,3$
≥ 235	$\leq 2,4$

Taulukko 6 Pudotuspainolaitteella sitomattoman kantavan kerroksen pinnalta mitatun tiiviyssuhteen vaatimukset (InfraRYL 2010, 322).

5.5 Mallipohjaisen laadunvarmistuksen käyttöönoton edellytykset

Mallipohjaisen laadunvarmistusmenetelmän käyttöönoton lähtökohtana on, että toteutusmallit on laadittu YIV 2015 osan 5.2 Maanrakennustöiden toteutusmalli (koneohjausmalli) laadintaohje -periaatteiden mukaisesti. Toteutusmalli on rakenteen lopputuloksesta luotu tietomalli. Toteutusmallin käyttötarkoitus on todentaa rakenteen geometrinen laatuvaatimuksien täyttyminen tilaajalle. Se vähentää myös huomattavasti laatuasioiden kirjallisia toimenpiteitä. (Buildingsmart 2015a). Taulukossa 7 on esitetty vaatimukset koneohjauksen mittaustarkkuudelle.

Rakenneosa	Suurin sallittu yks. sijainnin poikkeama (InfraRYL)	Suurin sallittu yks. korkeuden poikkeama (InfraRYL)	Työkoneautomaatiojärjestelmältä vaadittava mittaustarkkuus toteutamittauksia varten XY;Z
	mm	mm	mm
Maaleikkaus (201100), maatai louhepenger(18100), tie ja rata	- 0 / +200	+ 0 / -100	+ - 100; + -30
Suodatinkerros, tie/rata (211100)	- 0 / +150	+ - 40	+ - 100; + -30
Jakavakerros, tie (212100)	- 0 / +150	+ - 30	+ - 100; + -30
Kantavakerros, tie (213100)	- 0 / +150	+ - 20	+ - 50; + -20
Eristyskerros yläpinta, rata (212200)	- 0 / +100	+0 / -50	+ - 50; + -20
Välikerros yläpinta, rata (212300)	- 0 / +50	+0 / -20	+ - 50; + -20

Taulukko 7 Paikannettujen työkoneiden mittaustarkkuusvaatimukset (Building smart 2015b)

Työkoneiden mittaustarkkuuden seuranta on oleellinen asia laadunvarmistuksessa. GNSS-paikannettujen työkoneiden mittaustarkkuus tulee tarkastaa ja tarvittaessa kalibroida kerran viikossa. Tukiasema täytyy tarkastaa kerran kuukaudessa. Työkoneiden mittaustarkkuudesta vastaavalla henkilöllä tulee olla maanmittausalan ammatillinen koulutus ja kahden vuoden kokemus satelliitti- ja takymetri paikannuksesta, työkoneiden 3D-ohjauksjärjestelmistä sekä toteutusmallien tarkastamisesta ja mallintamisesta. (Ruotsalainen 2018.)

6 Laadunvarmistus

6.1 Perinteiset laadunvarmistusmenetelmät

Maan kantavuutta voidaan mitata useilla eri tavoilla, joista yleisimmät Suomessa ovat levykuormituskoe, raskas pudotuspainolaitokoe ja kevyt pudotuspainolaitokoe.

Levykuormituskokeessa mitataan rakenteen painumaa kuormitetun levyn alla. Kokeessa asetetaan 300 mm halkaisijaltaan oleva levy mittauspisteeseen. Levyä aletaan kuormittamaan hydraulisella tunkilla, jonka vastapainona voi toimia esimerkiksi kaivinkone. Mittakelloilla lasketaan painumaa levyn alla. Kuormitusta jatketaan 60 kN:iin asti, jonka jälkeen kuormitus poistetaan ja koe suoritetaan uudelleen. Jälkimmäisen kokeen jälkeen tuloksista voidaan piirtää kuormitus-muodonmuutos-kuvaaja. (Kalliainen, Luomala, Jäniskangas, Nurmikolu & Kolisoja 2011.) Kuvassa 10 tehdään levykuormituskoetta murskepinnalta.



Kuva 10 Levykuormituskoe (Rakennuskone 2018b)

Raskas pudotuspainolaite on kuvan 11 mukainen henkilöauton perässä vedettävä laite. Laitteessa on vapaasti putoava paino. Painon tippuessa maahan se luo rakenteelle kuormitusta. Tämä kuormitus kestää 22 ms, joka kuvaa todella raskaan liikenteen aiheuttamaa taipumaa rakenteelle. Laitteen laskentaohjelmisto laskee tuloksista kantavuusominaisuudet. (Road Consulting Oy 2018.)



Kuva 11 Raskas pudotuspainolaite (Road Consulting Oy 2018)

Kuvan 12 kevyt pudotuspainolaite toimii samalla mittausperiaatteella kuin raskas-kin, mutta se on kooltaan huomattavasti pienempi. Kevyt pudotuspainolaite on alkanut yleistymään rakennushankkeilla pienen hankinta- ja käyttökustannuksensa vuoksi. Pudotuspainolaitteilla voidaan ottaa myös päällysteen pinnalta ko-keita. Laite ilmoittaa kantavuustulokset omalta näytöltä. (Road Masters 2018.)



Kuva 12 Kevyt pudotuspainolaite (Road Masters 2018)

Troxler-mittalaitteen toiminta perustuu gamma-säteilyn vaimenemiseen mitattavassa maassa ja neutronisäteilyn takaisin sirontaan maassa olevasta vedestä. Troxler on jäämässä pois käytöstä säteilyomaisuutensa takia. Säteily aiheuttaa hankaluuksia käytössä, käytöstä poisottamisessa sekä kuljettamisessa. (Rakennuskone 2018b)



Kuva 12 Troxler mittaus (Rakennuskone 2018b)

6.2 Perinteinen laadunvarmistus

Perinteisessä laadunvarmistuksessa käytetään levykuormituskoetta tai raskasta pudotuspainolaitetta. Suodatinkerroksen, jakavan kerroksen ja kantavan kerroksen tiiveys mitataan 100 metrin välein kultakin ajoradalta (InfraRYL 2010, 322). Eli rakennetta mitataan pistemäisesti satunnaisesti valitulta kohdalta. Rakenteen laatu voi muuttua useaan kertaan mittauspisteiden välillä. Tiiveysmittaaja toimittaa tulokset urakoitsijalle ja urakoitsija tilaajalle.

Perinteiset laadunvarmistusmenetelmät ovat luotettavia, mutta ne ovat vain tietoa yksittäisistä mittauspisteistä. Perinteisillä laadunvarmistusmenetelmillä tulee käyttää työtapatarkkailua. Tehdään esimerkiksi työvaiheen alussa pieni alue valmista rakennetta ja todennetaan laatu. Jos laatu on vaatimusten mukainen, voidaan olettaa, että kyseisellä työtavalla rakenteen laatu täyttyy jatkossakin. Tämä ei kuitenkaan pois sulje vaadittuja laadunvarmistus mittauspisteitä, se antaa ainoastaan urakoitsijalle varmuutta, että rakenteesta tulee kattavasti laadukas.

6.3 Mallipohjainen laadunvarmistus

Mallipohjaisessa tiivistyksessä tiiveystieto kattaa koko tiivistettävän alueen, ei pelkästään satunnaisista mittapisteistä. Yksittäisiä varmistusmittauksia voidaan ottaa tarpeen mukaan. Mallipohjaisella tiivistämisellä varmistutaan rakenteiden reunojen ja erillisten työkohteiden liittymäalueiden laadukkaasta tiiveydestä. Yleensä kantavuusmittaukset otetaan keskeltä kaistaa.

Laatuasiat mallipohjaisessa tiivistämisessä on sovittava tapauskohtaisesti tilaajan kanssa. Erillistä vaatimusta ei ole missään vielä asetettu. Vt14 Laitaatsalmi -hankkeella sovittiin, että jokaiselta 5000 m²:n osa-alueen huonoimmalta jyrämittarin antaman arvon kohdalta tehdään levykuormituskoe. Jos rakennekohtaiset tiiveysvaatimukset eivät täyty rakenteen heikoimmassa kohdissa, tehdään paremmista jyrämittarin antamista arvoista kantavuuskokeet ja selvitetään millä jyrämittarin tiiveysarvolla tiiveysvaatimukset täyttyvät. Laitaatsalmen projektilla tehdyt varmistavat levykuormituskokeet läpäisivät kantavuusvaatimukset.

Koneohjausjärjestelmä tallentaa tiiveys- ja paikkatietoa yhtäaikaisesti. Näin ollen tulokset ovat yksiselitteisiä molemmiin puolin tilaajan ja urakoitsijan välillä. Tiiveystieto siirtyy koneesta aiemmin mainitulle selainpohjaiselle käyttöliittymälle, mistä tilaajan osapuolen henkilöt voivat myös seurata tiivistystyötä lähes reaaliajassa. Mallipohjaisessa tiivistämisessä kaikki tiiveys- ja kantavuustieto löytyy yhdestä paikasta ja se on molempien osapuolten nähtävillä.

7 Pohdinta

Tällä hetkellä mallipohjainen tiivistysmenetelmä on hyvä työkalu tiivistystyön seurantaan. Siitä saadaan jo paljon hyötyä, mutta hyötyä voisi saada paljon enemmänkin.

Tärkein kehittämisen kohde olisi tiiveystiedon luomisessa. Katsoessa kuvan 3 ylijokerta määriä, voidaan olettaa, että rakenne on tiivistetty hyvin. Kuitenkin kuvassa 2, jossa tarkkaillaan CMV-arvon muuttumista, se näyttää vielä suurimmalta osin heikosti tiivistetyltä. Käytännössä tiivistettävän materiaalin täytyisi olla todella hienojakoista, jotta CMV-arvon muuttumista voitaisiin tarkastella.

Yliajokertojen tarkastelu on myös todella hyödyllinen apuväline. Jos kuitenkin mietitään esimerkiksi kantavan kerroksen tekoa, jossa kuorma-autot ajavat tiehöylälle mursketta. Kyseiset työkoneet ajavat levitetyn murskeen päällä ja kerros tiivistyy jo työkoneiden painosta. Tätä tiivistymistä ei pystytä hyödyntämään, jos seurataan vain ja ainoastaan yliajokertojen määrää. Toisin sanoen, koneohjausjärjestelmästä ei ole ajallisesti mitään hyötyä tässä tapauksessa. Jos järjestelmä osaisi lukea CMV-arvon muuttumista virheettömästi, saataisiin sillä säästettyä työkustannuksia. Yliajokertoja voitaisiin tarvittaessa vähentää, jos kerros on tiivistynyt jo työkoneiden painosta jo kerrosta rakennettaessa.

Seuraamalla tiivistettävää aluetta sitä tiivistettäessä varmistutaan vähintään siitä, että mikään kohta ei jää tiivistämättä. Tämä poissulkee tapaukset, joissa rakenteita jouduttaisiin jälkikäteen vielä avaamaan ja tiivistämään uudelleen.

Todella hyödyllinen ominaisuus jyrässä on pintamallien tuoma leikkaa/täytä-näkymä. Koneohjausjärjestelmä mittaa jatkuvasti toteutuneen pinnan ja suunnitelun pinnan korkeuseroa. Täyttömateriaalin levittävän koneen kuljettaja joutuu arvioimaan tiivistyksestä aiheutuvan painumisen ja tekemään kerroksen suunnitelmaan nähden liian korkeaksi. Jos tiivistyksen jälkeen rakenteen pinta ei ole suunnitelman mukainen, niin se selviää jo jyräkuskin toimesta katsomalla leikkaa/täytä-karttaa. Jos pinta on suunnitelman mukainen, voi jyrällä ottaa myös toteumapisteet rakenteen lopputuloksesta.

Jyrän kuljettaja on tärkein osa kustannustehokasta tiivistämisestä. Kun kuljettaja on perehdytetty huolellisesti mallipohjaiseen tiivistämiseen ja kuljettaja pystyy suorittamaan työn omajohteisesti, saadaan tehokkuus irti työmenetelmästä. Jos järjestelmän käyttöä ei ole perehdytetty kuljettajalle, osa työajasta kuluu pohtiessa sen toimintaa, jolloin työmenetelmä menettää tehokkuutensa. Toteumatieto on tärkeä saada tallentumaan kerralla oikeaan kansiorakenteeseen, jotta se löytyy helposti, eikä jää epäselväksi minkä rakennekerroksen tiiveystieto on kyseessä.

Koneohjauslaitteen hinta on noin 30 000 € asennettuna työkoneeseen. Suuren hankintahinnan vuoksi laitteelle täytyisi olla jatkuvaa käyttöä, sekä siitä pitäisi osata ottaa kaikki hyöty irti. Pitkällä aikavälillä katsottuna mallipohjainen tiivistä-

minen ja sen laadunvarmistus tulevat kuitenkin halvemmaksi kuin perinteiset menetelmät. Suurille rakennusalan yrityksille laitteen hankkiminen ei aiheuta ongelmia, mutta pienyrittäjälle hankinta voi olla suuri kynnys.

Infrarakentamisessa rakenteiden tiivistämisellä on suuri vaikutus tuotteen elinkaareen. Tiivistystyön kustannukset ovat suuria, mutta laadusta ei voida tinkiä. Mallipohjainen tiivistäminen on askel eteenpäin kustannustehokkaammassa infrarakentamisessa. Tehokkaimmilla työtavoilla säästetään polttoainetta, aikaa sekä ympäristöä. Rakennushankkeiden työkoneiden päästöt ovat iso osa päästöistä maailmassa.

Kuvat

Kuva 1. Tärylevy 170 kg, s. 8

Kuva 2. Valssijyrä s. 9

Kuva 3. Kumipyöräjyrä, s. 9

Kuva 4. Kiihtyvyyssanturi valssijyrään kiinnitettynä s. 11

Kuva 5. Satelliittipaikannus työmaalla s. 12

Kuva 6. CMV-arvon muutoksen seuranta s. 13

Kuva 7. Yliajokertojen seuranta s. 13

Kuva 8. Leikkaa/täytä näkymä kuvastaa toteutuneen pinnan eroa suunnitellun mukaiseen pintaan s. 14

Kuva 9. Jyrän kuljettajan näkymä. Näytöllä CMV-arvon muutos s. 14

Kuva 10. Levykuormituskoe s. 19

Kuva 11. Raskas pudotuspainolaite s. 20

Kuva 12. Kevyt pudotuspainolaite s.21

Taulukot

Taulukko 1. Tiivistyskertojen ohjearvot vesipitoisuuden ollessa lähellä optimiarvoa s. 7

Taulukko 2. CMV-arvoja tiivistettäville materiaaleille s. 12

Taulukko 3. Levykuormituslaitteella jakavan kerroksen pinnalta mitatun tiiviyssuhteen vaatimukset s. 16

Taulukko 4. Pudotuspainolaitteella jakavan kerroksen pinnalta mitatun tiiviyssuhteen vaatimukset s. 16

Taulukko 5. Levykuormituskoelaitteella sitomattoman kantavan kerroksen pinnalta mitatun tiiviyssuhteen vaatimukset s. 17

Taulukko 6. Pudotuspainolaitteella sitomattoman kantavan kerroksen pinnalta mitatun tiiviyssuhteen vaatimukset s. 17

Taulukko 7 paikannettujen työkoneneiden mittaustarkkuusvaatimukset s. 20

Lähteet

3d Koppi. Koneohjausmalli.

www.3dkoppi.fi/koneohjausmalli. Luettu 15.1.2018.

Building Smart a. Yleiset inframallivaatimukset 2015. Maanrakentamisen mallipohjainen laadunvarmistus.

https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2017/07/YIV2015_Mallinnusohjeet_Osa12.1_Maarakentamisen_mallipohjainen_laadunvarmistusmenetelm%C3%A4.pdf

Building Smart b. Yleiset inframallivaatimukset YIV 2015. Yleiset mallinnusvaatimukset.

https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA2_Yleiset_Vaatimukset_V_1_0.pdf

Dynapac 2018. Käyttöohjeet Dynapac täryjyryään. Julkaisu Dynapacin www-sivuilla. Luettu 16.1.2018. https://dynadocweb.dynapac.com/idc/groups/product_doc/documents/product_documentation/4812159016.pdf

Ilmatieteenlaitos 2018. Avaruussään vaikutus satelliittipaikannukseen. Artikkelii ilmatieteenlaitoksen www-sivuilla. <http://ilmatieteenlaitos.fi/satelliittipaikannus>.

Luettu 15.1.2018

InfraRYL 2010. Osa 1, Väylät ja alueet. Rakennustieto.

Kalliainen. A, Luomala. H, Jäniskangas. T, Nurmikolu. A & Kolisoja. P. 2011. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä. Radan eristys- ja välikerrosten tiiviys- ja kantavuustutkimus. Helsinki. Liikennevirasto.

Laukkanen. K, Halonen. P & Pyy. E. 2012. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä. Sitomattomien rakenteiden jatkuvatoiminen tiivistystarkkailu. Helsinki. Liikennevirasto.

Jaakkola. M. 2017. Mallipohjaisen tiivistämisen pilotti. Oulu. Destia.

Rakennuskone a. Laadunvarmistus.

<https://www.rakennuskone.fi/laadunvarmistuksen-menettelyt>. Luettu 17.2.2018.

Rakennuskone b. Maan tiivistyskalusto.

www.rakennuskone.fi/maantiivistyskalusto. Luettu 20.2.2018.

Rakentaja 2018. Uusimmat esitykset ja videot. Autotallin maanrakennustyöt.

www.rakentaja.fi/tv/e1025autotallin_maarakennustyot.aspx. Luettu 23.2.2018.

Road Consulting Oy 2018. Palvelut.

www.roadconsulting.fi. Luettu 19.2.2018.

Road Masters. Kantavuusmittaukset. Luettu 29.10.2018

Ruotsalainen, J. Automaatio-operaattori. Destia Oy. Haastattelu, 20.2.2018.

Topcon 2018. Koneohjausjärjestelmät. Luettu 10.4.2018.