



Olli Laaksonen

Betonilattioiden luokitusjärjestelmä ja tasaisuusvaatimukset

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Rakennusalan työnjohto, Talonrakennustekniikka

Opinnäytetyö

9.11.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Olli Laaksonen
Otsikko:	Betonilattioiden luokitusjärjestelmä ja tasaisuusvaatimukset
Sivumäärä:	32 sivua + 1 liite
Aika:	9.11.2023
Tutkinto:	Rakennusmestari (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Rakennusalan työnjohto, Talonrakennustekniikka
Ammatillinen pääaine:	Betonitekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Juha Virtanen

Betonilattioiden tasaisuutta valvotaan liian usein silmämääräisesti tai karkeaan 1–2 m ruutuun mitattuna pieneltä alueelta, jolloin lopputuloksena saattaa olla epätasainen lattia, vaikka sen on tarkoitus olla ollut tasainen. Tässä työssä käytiin läpi betonilattian lopputulokseen vaikuttavat asiat ja menetelmät sekä havainnoitiin tasaisuuden mittaamisen menetelmiä kahdella esimerkillä. Myös halkeamaleveyttä tarkasteltiin lyhyesti. Kulutuskestävyyttä ei tarkasteltu, mutta se mainitaan lyhyesti.

Mittausmenetelmä valitaan liian usein kustannusperusteisesti, jolloin lattian todellinen tasaisuus jää silmämääräisen havainnon varaan. Lisäksi mittaukset tehdään takymetrillä 1–2 m ruutuun nopean ja helpon suorituksen takia, vaikka tässä menetelmässä jää pisteiden väliset alueet usein tarkastelematta tai ne todetaan mitattujen pisteiden korkeuseron perusteella riittäväksi.

Tässä työssä käytiin läpi betonilattioiden luokitusjärjestelmää, työmenetelmien vaikutuksia tasaisuuteen ja halkeamaleveyteen sekä lattian mittaamisen menetelmiä, ja lopuksi tarkasteltiin kahden kohteen lattiaa laserkeilauksen avulla. Myös halkeamaleveyttä havainnoitiin lyhyesti kohteessa, jossa niitä on ilmennyt runsaasti.

Tästä työstä selviää myös mittausmenetelmien eroavaisuudet lattian tasaisuuden toteutukseksi sekä betonin valinnan ja työstömenetelmien vaikutus betonilattian tasaisuuteen.

Avainsanat: lattiantasaisuus, halkeamaleveys, lattian tasaisuuden mittaaminen, betonilattia, betonin työstö, betonin laatu, tasaisuuden mittaaminen laserkeilaamalla.

Abstract

Author: Olli Laaksonen
Title: Classification System And Uniformity Requirements for Concrete Floors
Number of Pages: 32 pages + 1 appendice
Date: 9 November 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Bachelor of Construction Management
Professional Major: Concrete Technology
Supervisors: Juha Virtanen, Senior Lecturer

The flatness of concrete floors is too often checked visually or measured from a small area in a rough 1 – 2 m point density, so the end result may be an uneven floor, even though it was supposed to be flat. In this graduate study, the issue and methods affecting the result of the concrete floor will be reviewed, and the methods of measuring uniformity will be observed with two examples. The crack width is also briefly examined. Wear resistance is not examined, but it is briefly mentioned.

The measurement method is too often chosen on the basis of cost, leaving the actual flatness of the floor up to visual observation. In addition, the measurements are made with a total station 1 – 2 m point density due to quick and easy execution, although in this method the areas between points are often left unexamined or they are found to be sufficient based on the height difference of the measured points.

In this study, the classification system for concrete floors, the effects of work methods on flatness and levelness and crack width, as well as the methods of measuring the floor will be reviewed. In addition, the laser scanning measuring method with two example projects were investigated. The floor crack width is also briefly observed in one example in which a significant amount of cracks on a briefly your floor occur.

This final year project also explains the differences in measuring methods to determine the flatness and levelness of the floor, as well as the influence of concrete selection and processing methods on the end results of the concrete floors.

Keywords: floor flatness, crack width, measuring the floor flatness, concrete floor, processing concrete floors, concrete floors quality, measuring floor flatness by laser scanning.

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	6
2	Betonilattian luokitusjärjestelmä	6
2.1	Suoruus- ja tasaisuusvaatimukset	7
2.2	Kulutuskestävyys	9
2.3	Halkeamaleveys	10
3	Työmenetelmien vaikutukset tasaisuuteen ja halkeamaleveyteen	11
3.1	Betonin siirto	11
3.2	Betonin rauditus	13
3.3	Betonin valinta	14
3.4	Betonin levitys, tiivistys ja hierto	15
4	Tasaisuuden mittaaminen	16
4.1	Laserkeilaus	16
4.2	Takymetri tai vaaituskoje	18
4.3	Mittalauta- ja kiilamenetelmä tai profileograph	20
5	Betonilattian tasaisuuden toteaminen ja korjaaminen esimerkkikohteissa	21
5.1	Uudiskohteen lattia	21
5.2	Vanhan kohteen lattia	24
5.3	Halkeamaleveys	29
6	Yhteenveto	30
7	Johtopäätökset	31
	Lähteet	32
	Liitteet	
	Liite 1: Laserkeilauksen rekisteröinti prosessikuvaus	

Lyhenteet ja käsitteet

3D-Win	Suomalainen ohjelma paikkatiedon (mittausaineiston) käsittelyyn.
Cyclone 3DR	Leican ohjelma pistepilvien käsittelyyn ja jälkilaskentaan.
Dumpperi	Iso kuorma-auto, maansiirtokone.
Invarlatta:	Tarkkavaaituksessa käytettävä 2–4 m pitkä latta, jossa on viivakoodi, jota luetaan elektronisella vaaituskojeella.
Kuorilaatta	Ohut esijännitetty laattaelementti. Toimii myös muottina lattiavaluille.
Laserkeilain:	Mittalaite, jolla mitataan miljoonia pisteitä sekunnissa kolmiulotteisesti.
Leica Cyclone	Pistepilvien rekisteröintiohjelma Leica-laitevalmistajalta.
Ontelolaatta	Esijännitetty laattaelementti, jota on kevennetty laatan pituussuunnassa kulkevilla onteloilla, jotka ovat yleensä pyöreitä.
Rasvapunos	Muovikuoren sisällä oleva vaijeri, jonka tehtävänä on jäykistää rakenne.
Takymetri:	Maanmittauksessa käytettävä mittalaite, jolla mitataan yksittäisiä pisteitä kolmiulotteisesti.
Vaaituskoje:	Manuaalinen tai elektroninen laite, jolla mitataan korkeuseroja.

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella työmenetelmiä, jotka vaikuttavat betonilattian valmiiseen lopputulokseen, varsinkin tasaisuuteen, sekä näiden työmenetelmien vaikutus haluttuun lopputulokseen. Asian laajuuden vuoksi tässä työssä tarkastellaan lähinnä asuintalojen betonilattioita. Kulutuskestävyyttä ei lähemmin tarkastella, mutta se mainitaan lyhyesti.

Tässä työssä tarkastellaan esimerkkinä varastojen maanvaraisia betonilattioita. Näiden lattioiden lopputulos jää liian usein silmämääräisen havainnoin varaan tai liian suppean mittaustavan valintaan ja tällöin tasaisuuden oikea laita jää usein huomaamatta. Halkeamien toteamiseen silmämääräinen havainnointi on usein riittävä.

2 Betonilattian luokitusjärjestelmä

Riippuen betonilattian tulevasta käyttötarkoituksesta, on sille olemassa valmiita laatu- ja tasaisuusluokkia, joista valitaan käyttötarkoitukseen sopiva, jota lähde-tään toteuttamaan. Tämä luokitusjärjestelmä sisältää yleiset laatutekijät, joilla on tärkeä merkitys lattian kestävyydelle ja käytölle. Nämä laatutekijät on luokiteltu seuraavasti: Suoruus, Kulutuskestävyys ja Suurin sallittu kutistuma (1, s. 409.)

Betonilattian luokitusjärjestelmä ilmoitetaan kirjain – numero – lukuarvo yhdistelmällä, jossa suoruus ilmoitetaan kirjaimella A – C (joista kirjain A on vaativin), kulutuskestävyys numerolla 1 – 4 (joista numero 1 on vaativin) ja suurin sallittu kutistuma roomalaisella lukuarvolla I – IV (joista luokka I on vaativin), lisäksi, mikäli kohde on erityisen vaativa (esim. saumaton, laaja-alainen tai huonoissa olosuhteissa tehtävä lattia), voidaan luokitusmerkintään liittää neljäntenä osana lisäksi T-kirjain (A-2-II-T). T-merkintä tarkoittaa, että betonilattiaurakoitsijan edustavalla henkilöllä tulee olla FISE Oy:n myöntämä betonilattiatyönjohtajan pätevyys. (1, s. 409.)

Taulukko 11.2.1. Lattian luokiteltujen laatutekijöiden valintaohje tavanomaisella vaatimustasolla.

Kohde	Laatuluokka		
	Suoruus	Kulutuskestävyys	Halkeilu
Asunnot ja toimistot			
Päällystettävät lattiat, sisätilat	A	3	III
Parvekkeet ym. kylmät tilat ¹⁾	C	4	2)
Käytävä	C	4	II
Sauna ja pesuhuonetilojen päällystettävät kaatolattiat	A	4	II
Teollisuuslattiat			
Tasaisuus tärkeä laatutekijä (esim. korkeat varastot, joissa trukki liikennettä)	A ₀ (A)	2	II (I)
Kulutuskestävyys tärkeä laatutekijä (esim. suuret liikennekuormat, vilkas liikenne, pienet ja kovat trukin pyörät)	B	1 (2)	II (I)
Teollisuuslattiat yleensä (esim. pienteollisuustalot, kevyt teollisuus)	C	2	II
Pysäköintilaitokset			
Kulutuskestävyys ja pinnan karheus tärkeitä laatutekijöitä. Kaltevuudet suunnitellaan niin, että lattialle ei muodostu lammikoita	B	2	II ²⁾
Toisarvoiset päällystämättömät tilat			
Esim. kellaritilat asuinrakennuksissa	C	3	III

¹⁾ Pakkaskestävyys varmistettava ulkorakenteissa.
²⁾ Kantavissa rakenteissa noudatetaan voimassa olevien suunnitteluohjeiden vaatimuksia.

Kuva 1. Lattian laatutekijöiden tavanomainen valintaohje. (1. s. 410)

2.1 Suoruus- ja tasaisuusvaatimukset

Tasaisuuden määrittämiseen käytetään valmiin lattiapinnan aaltoilua, hammersusta ja kaltevuusvirheitä. Lattiapinnan karheutta ei huomioida. Tasaisuutta verrataan vaakasuoraan tasoon tai kaltevaksi suunnitellulla lattialla lattian nimellis-kaltevuuteen.

Poikkeamat eivät saa ylittää missään lattian alueella kuvan 2 arvoja millään mitausvälillä, poissulkien toisarvoisia kohtia, joina pidetään seinistä ja pilareista 300 mm:n etäisyydelle ulottuvaa osaa. Nämä kohdat voivat olla yhtä luokkaa huonompia.

Taulukko 11.2.2. Lattian suurimmat sallitut tasaisuuspoikkeamat. Mittausluokassa L on kyse niiden kahden pisteen keskinäisestä välimatkasta, joiden välistä poikkeamaa tarkastellaan.

Tasaisuuspoikkeama	Mittausluokka L [mm]	Suurin sallittu poikkeama [mm]			
		A ₀	A	B	C
Hammas		0	0	1	1
Poikkeama vaakasuorasta tai nimelliskaltevuudesta	enintään 200	1	2	3	4
	enintään 700	2	4	6	8
	enintään 2000	4	7	10	14
	enintään 7000	7	10	14	20
	yli 7000	10	14	20	28

Huom1. Rakentamisasiakirjoihin liitetään yleensä maininta *Rakentamisen yleisten laatuvaatimusten* (RYL) huomioon ottamisesta. SisäRYL:n sisältämä tasaisuusluokitus perustuu erilaiseen mittausmenetelmään eivätkä luokat ole suoraan rinnastettavissa. Vaikka betonilattioiden laatuvaatimukset perustuvatkin tavallisesti *by 45/BLY 7 Betonilattiat 2018* -julkaisuun, on syytä olla tarkkana, minkä luokituksen mukaan vaatimukset on asetettu.

Huom2. Vaikka taulukko on tarkoitettu suoruuden arviointiin, voidaan 200 mm:n mittavälillä arvioida myös pinnan tasaisuutta.

Kuva 2. Betonilattian sallitut tasaisuuspoikkeamat -taulukko.

Tasaisuusvaatimuksia olisi hyvä seurata koko työn ajan. Tasaisuutta voidaan mitata paikallisesti linjalaudan ja vatupassin avulla. Ennen työn luovuttamista olisi hyvä tehdä lattian tasaisuudesta vastaanottomittaus työntekijän ja vastaanottajan edustajan läsnä ollessa. Mittauksista tulisi laatia pöytäkirja.

Betonilattian suoruus tulisi mitata heti seuraavana päivänä valusta. Tässä on kuitenkin se riski, että plastinen painuminen ei ole vielä loppunut ja lattiaan voi muodostua epätasaisuutta betonin kuivumisen aikana. Tämän vuoksi, varsinkin paksuissa maanvaraisissa betonilattioissa tulisi lattian suoruus mitata vasta 2–5 vuorokauden jälkeen lattian valamisesta.

2.2 Kulutuskestävyys

Betonipintojen hyvään kulutuskestävyyteen vaikuttaa valittu työmenetelmä, jolla halutaan saavuttaa toivottu kulutuskestävyys.

Kulutuskestävyyttä testataan VTT:n teräspyöräkokeella, jossa mitataan teräspyörien aiheuttamaa kulumista puhtaalla betonipinnalla, jota ei ole pintakäsittely. (1, s. 412.)

Taulukko 11.2.3. Kulutuskestävyysvaatimukset 3 kk:n ikäiselle lattialle VTT:n teräspyöräkokeessa ja työmenetelmiä vaatimusten saavuttamiseksi.

Luokka	Sallittu kuluminen [mm]		Työmenetelmä, jolla vaatimus saavutetaan
	Kierrosta		
	2000	800	
1	1	-	10...20 mm:n erikoisbetoni runkoaineena kvartsi, metalli, piikarbidi tai elektrokorundi + konehierto tai koneliippaus vähintään 2 kertaa. 30 mm:n kovabetonilattia C40/50. Betoni C25/30 + sirotepintauserikoiskiviainepohjaisilla siroteilla riittävän runsaana ja koneliippaus tai konehierto vähintään 2 kertaa.
2	3	-	Betoni C30/37, maksimiraekoko vähintään 16 mm ja koneliippaus siivillä sileäksi tai konehierto vähintään 2 kertaa. Betoni C25/30 + sirotepintauserikoiskiviainepohjaisilla siroteilla + koneliippaus tai konehierto vähintään 2 kertaa. Imubetonilattia, lähtömassa C25/30. Betoni C25/30, kovettuneen lattian pintahionta siten, että sementtiliima poistuu ja runkoaine on tasaisesti näkyvässä, hiotun pinnan silikaattikäsittely.
3	-	6	Hyvällä ammattitaidolla tehdyt koneella hierretyt ja käsin liipatut lujuusluokan C25/30 lattiat.
4	ei vaatimusta		Hyvällä ammattitaidolla tehdyt lujuusluokan C25/30 lattiat.

Kulutuskestävyyden mittausmenetelmistä on annettu lisätietoa julkaisussa BY 45/BLY 7 *Betonilattiat 2018*.

Kuva 3. Kulutuskestävyysvaatimukset 3 kk ikäiselle lattialle -taulukko. (1, s. 413.)

Kestävällä kiviaineella, riittävällä sideainemäärällä ja alhaisella vesisementtisuhteella (käytetään mahdollisimman vähän vettä) saadaan aikaan hyvin kulutusta kestävä betonikoostumus. Kulutuskestäviä rakenteita saadaan, kun huolellisesti valmistellut työvaiheet toteutetaan suunnitellusti ja olosuhteet huomioon ottaen.

Lattian kulutuskestävyysvaatimukset on esitetty kuvassa 3. Yksi kolmesta koikeesta saa ylittää sallitun kulumisen 25 % edellyttäen, että kaksi kolmen sarjasta täyttää vaatimuksen. Kulutuskestävyyskoe tehdään kolmen kuukauden kuluessa lattian valusta, jos betonin kypsyysikä t_{20} on vähintään 50 d, eli betoni on kovettunut +20 °C:n lämpötilassa vähintään 50 vuorokautta. (1, s. 412.)

2.3 Halkeamaleveys

Halkeilu on yleisin betonilattiaan syntyvä vauriomuoto. Halkeiluun vaikuttaa betonin kutistuma. Betonilattioiden halkeilua pyritään hallitsemaan antamalla betonin vapaasti kutistua rajaamalla kutistuma alueet kutistumis- tai liikuntasauvoja hyödyntäen sekä vähentää plastista painumista käyttämällä mahdollisimman vähän vettä.

Halkeamien leveys mitataan yleensä takuutarkastusten yhteydessä, mutta kuitenkin vasta vähintään yhden lämmityskauden jälkeen. Halkeamaleveys arvioidaan mitta-asteikolla varustetulla luupilla, halkeamamikroskoopilla tai silmämääräisesti käyttäen apuna halkeamareferenssikortteja. (1, s. 412.)

Silmämääräisesti havaittavat halkeamat ovat yleensä leveydeltään 0,1 millimetristä useaan millimetriin.

Taulukko 11.2.4. Suositeltava suurin sallittu halkeamaleveys maanvaraisissa lattioissa ja pintalattioissa.

	Halkeamaleveysluokka			
	I	II	III	IV
Kuvaus	Vaativa	Normaali	Merkityksetön	Erikoisluokka
Sallittu halkeamaleveys [mm]	0,3	1,0	Ei vaatimusta	Ilmoitetaan erikseen

Kuva 4. Halkeamaleveysluokka taulukko (1, s. 413.)

Betonilattian lopputulokseen vaikuttavat monet tekijät. Lattiarakennetta ei ole mahdollista saada halkeilemattomaksi huonoilla työmenetelmillä ja epäsuotuisissa olosuhteissa, vaikka käytettäisiin kutistuman kannalta optimaalista betonia. Liian suuren lujuusluokan omaavan betonin käyttö työmaan kiireellisen aikataulun takia lisää betonin halkeamisriskiä, jolloin riittävän ajoissa aloitettu jälkihoito on merkittävässä roolissa varhaishalkeilun ehkäisemisessä. Myös työmaan olosuhteet jälkihoidon aikana ovat kriittiset, varsinkin talvella saatetaan tilaa lämmittää liikaa, jolloin lattialla on vaara kuivua liian nopeasti.

3 Työmenetelmien vaikutukset tasaisuuteen ja halkeamaleveyteen

3.1 Betonin siirto

Betonimassan siirtoon on useita eri menetelmiä ja laitteita. Oikeanlaisen siirtomenetelmän valinta riippuu valukohteesta ja sen sijainnista. Kuvan 5 taulukossa on esitetty betonin siirtomenetelmiä ja niiden soveltuvuutta eri valuihin.

Taulukko 8.6.1. Betonin siirtomenetelmiä ja niiden soveltuvuus eri rakenteiden valuihin.

Rakennusosa	Betonointikalusto					
	Pumppu	Nostoastia ja nosturi	Hihna	Valukouru	Dumpperi	Kottikärryt
Perustusanturat	X	X	X	X	X	(x)
Perusmuurit	X	X	X	X	(x)	
Seinät	X	X	X			
Pilarit	X	X	X			
Palkit	X	X	X	(x)		
Ala-, väli- ja yläpohjaholvit	X	X	X	(x)		
Liitto- ja kuorilaatat	X	X	X	(x)		
Maanvaraiset laatat	X	(x)	X	X	X	X
Kelluvat betonilattiat	X		X	(x)		
Pintabetonivalut (paksuus 60...80 mm)	X		X	(x)		
Pintabetonivalut (paksuus 30...60 mm)	X		X			
Pintabetonivalut (paksuus < 30 mm)	X		X			

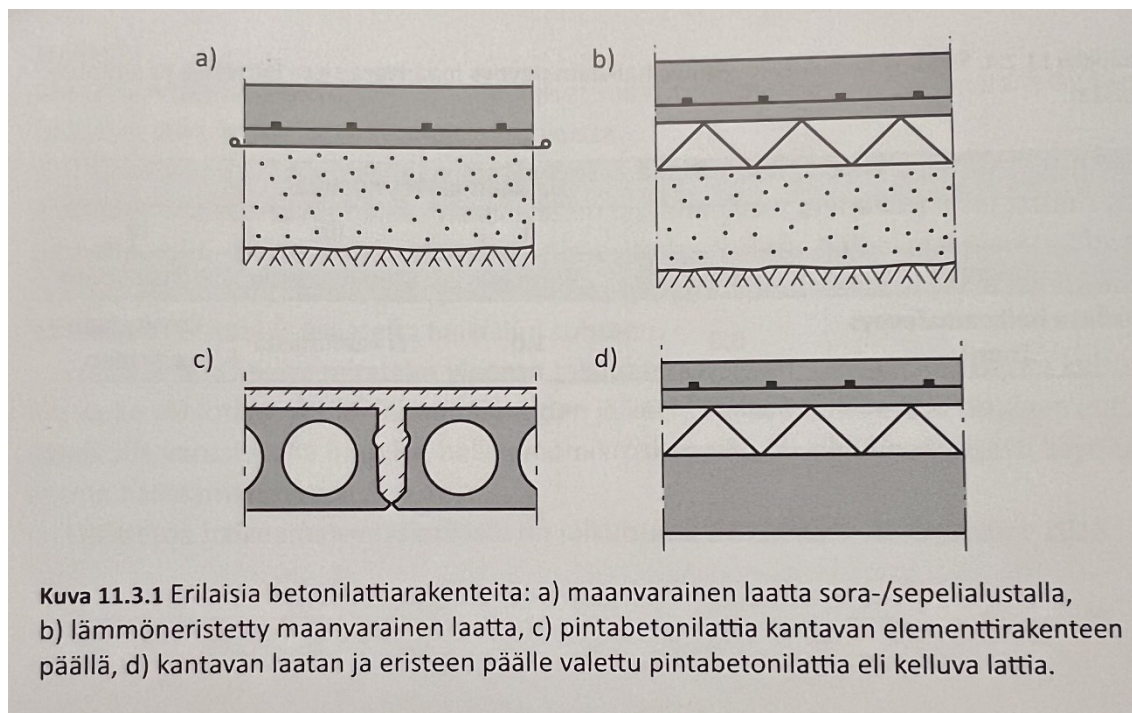
Kuva 5. Betonin siirtomenetelmiä (1, s. 319.)

Asuinrakennusten betonilattioiden betonin yleisin siirtomenetelmä on betoni-pumppu. Erilaisia pumpputyyppejä ja menetelmiä sekä näihin liittyviä lisälaitteita on useita erilaisia, kuten mm. autobetonipumppu, kuljetuspumppuauto, puomiton autopumppu tai kuljetuspumppuauto, hinattavat tai palkkialustaiset betonipumput, linjapumppaus sekä jakopuomi. (1, s. 318.)

Teollisuudessa ja varsinkin laajojen maanvaraisten lattioiden valamiseen soveltuu parhaiten dumpperi. Tällöin betonimassa on niin jäykkää, että sen pumppaaminen on mahdotonta.

3.2 Betonin raudoitus

Betonilattioiden rakenteellisia vaihtoehtoja ovat raudoitus, kuitubetoni tai jännitetty betonilattia.



Kuva 6. Erilaisia betonilattiarakenteita (1, s. 414.)

Raudoitettuun lattiaan laitetaan normaalia verkkoraudoitusta yhteen- tai kahteen tasoon sijoitettuna. Lattian yläpinnassa betonipeitteen tulisi olla noin 5 mm suurempi kuin käytetyn betonin maksimiraekoko, jotta saavutetaan mahdollisimman hyvä halkeilun kesto ja betoni ympäröi luotettavasti yläpinnan teräkset. Raudoituksen määrä ja sijainti suunnitellaan etukäteen hyvin, ottaen huomioon alustan tuleva käyttötarkoitus. (1, s. 415.)

Betonilattian tavanomaiset raudoitteet voidaan tietyissä tilanteissa korvata teräs- tai makropolymeerikuiduilla. Jälkimmäistä, makropolymeerikuitua käytetään toisinaan pintabetonilattioissa sekä maanvaraisissa ulkona sijaitsevilla betoni-laatoissa koska ne eivät ruostu. Näiden lujuusominaisuudet ovat vaatimattomammat kuin teräskuiduilla. Kuitubetonilattian etuna on parempi raudoitusjakauma, jonka vuoksi betonin massa on sitkeämpää ja näin ollen halkeilua hallitaan paremmin. Kuitubetonilattiassa kutistumaliikkeet on hallittava liikunta-saumoilla tai riittävän suurella kuitumäärällä. (1, s. 415.)

Jännitettyjä lattioita käytetään ulko-olosuhteissa tai teollisuudessa, jossa tarvitaan kestävästä rakennetta ja laaja-alaista yhtenäistä lattiapinta-alaa. Keskeisellä laatan jännittämisellä voidaan yleensä liikuntasaumoista luopua kokonaan. Suomessa käytetyin jännitysmenetelmä perustuu niin sanottuihin tartunnattomiin jänneteräksiin, joissa jänneteräksen tartunta betonilattiaan on poistettu asentamalla jännepunos muovikuoren sisään. Muovikuori täytetään korroosiolta suojaavalla ja kitkaa pienentävällä rasvalla, mistä syystä kyseisiä jänneteräksiä kutsutaan usein puhekielessä rasvapunoksiksi. Teräkset sijoitetaan tavallisesti noin metrin välein ristiin laatan keskikorkeudelle aaltomaiselle muodolle pituus-suunnassa. Jännitetyissä laatoissa on erittäin tärkeää huomioida, että kun rasvapunokset jännitetään lopuksi, tulisi huomioida lattian pullistuminen muutamien senttimetrien verran ylöspäin jännittämisen takia. (1, s. 416.)

3.3 Betonin valinta

Betonimassan valinta on keskeisessä asemassa betonilattian onnistumisessa. Betonimassan ominaisuudet vaikuttavat itse betonointityön onnistumiseen sekä kovettuneen betonin haluttujen ominaisuuksien saavuttamiseen. Betonimassan ominaisuudet määrittää rakennesuunnittelija ja rakennesuunnitelmissa määritellään mm. lujuusluokka, betonipeitteen paksuus, rakenteen rasisuusluokka ja suunniteltu käyttöikä, toleranssit sekä pintaluokat ja pinnoille asetetut erityisvaatimukset.

Betonimassan notkeudeksi pyritään, varsinkin maanvaraisissa lattioissa, valitsemaan mahdollisimman jäykkä massa, mikä vähentää kutistumisen aiheuttavaa epätasaisuutta. Notkeuden kasvaessa betonissa tarvittavan sementtiliiman määrä kasvaa, mikä johtaa betonin kutistuman, viruman, halkeilun ja erottumisriskin lisääntymiseen. Mikäli betonityö vaatii suurempaa notkeutta, on käytettävä lisäaineita. Betonin vaadittujen ominaisuuksien saavuttaminen varmistetaan mittaamalla. Lopullisen oikeanlaisen betonin valintaan vaikuttaa rakennesuunnittelijan, työmaan ja betonin valmistajan yhteistyön tulos, jolla varmistetaan, että betoni soveltuu sille suunniteltuun käyttötarkoitukseen.

3.4 Betonin levitys, tiivistys ja hierto

Betonin levitys tapahtuu betonipumpulla ja letkulla, pyöräkuormaajalla tai muulla siirrettävällä kalustolla, mikäli massan jäykkyyden vuoksi ei voida käyttää pumpua. Levittämistapa vaikuttaa vahvasti valittavaan betonimassan laatuun ja levittämistapa on hyvä valita viimeistään aloituspalaverissa.

Vaihtoehtoisia levitystapoja ovat pumppaaminen, laserohjatut levityskoneet, ränni- tai hihnapurku sekä kottikärryt tai nostoastia. Laserohjattuja levityskoneita suositaan isoissa teollisuuden lattioissa, joissa käytetään jäykempää massaa, koska se soveltuu erinomaisesti kuitubetonivaluihin, jolloin raudoitus ei ole häiritsemässä koneen liikkeitä. Ränni- ja hihnapurku sopivat maanvaraisiin pieniin kohteisiin, joissa päästään betoniautolla lähelle valettavaa kohdetta.

Yleisin levittämistapa on pumppaaminen. Betonia siirretään/levitetään lattialle tasaisesti sopivan kokoiselle alalle kerrallaan niin tarkasti, ettei lapiolla tarvitse betonia enää levitellä. Tämän jälkeen betonia tiivistetään sauvatäryttimellä, jotta siitä häviäisi ylimääräinen ilma, ympäröidään raudoitus täydellisesti sekä pyritään saamaan kiviaines tasoittumaan tasaisesti.

Tiivistämisen jälkeen betonin yläpintaan otetaan tasolaserilla tarkasti tarvittava määrä korkomerkkejä, joiden mukaan lattiamies linjaa betonin suoraksi 2,5–4 m pitkällä alumiinilinjalatalla betonilattialle asetettujen laatuvaatimusten mukaiseen suoruuteen niin, ettei lattiaa tarvitse jälkeinpäin oikoa tasoitteilla.

Betonipinnan hierto tehdään siinä vaiheessa, kun betoni on sitoutunut (vesi on hävinnyt pinnasta) ja kävellessä betoniin jää vain pieni (enintään 5 mm) painauma, tähän menee vähintään 4 tuntia valun aloittamisesta. Hierto suoritetaan moottorikoneella, jolloin lievä tärinä tiivistää betonia (tämä ei kuitenkaan korvaa valun aikaista tärysauvalla tiivistämistä). Mitä useampia hierontokertoja tehdään, sitä lujempi ja tiiviimpi pinnasta tulee. Pienet ja ahtaat kohteet hierretään yleensä käsin puu- tai teräshiertona. Hierron yhteydessä on mahdollista lisätä betonin pintaan sirote heti avaus hierron jälkeen ennen varsinaisia tasaus- hiertoja.

Lattian toimivuus riippuu merkittävästi sen parin millimetrin paksuisesta pintaosasta, jossa kokeet ovat osoittaneet, että paras kestävyys saavutetaan 2–3 kertaa tehdyllä koneellisella hierrolla.

4 Tasaisuuden mittaaminen

4.1 Laserkeilaus

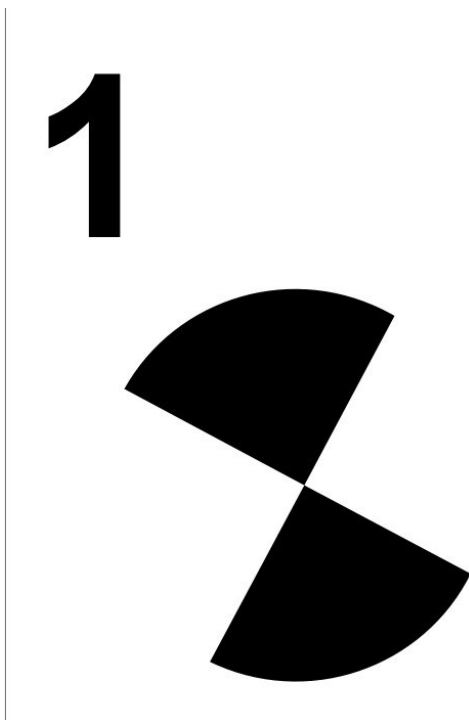
Laserkeilaus on mittaustapa, jolla kohteesta saadaan lasersäteiden avulla mittatarkkaa kolmiulotteista tietoa kohteeseen koskematta.

Laserkeilauksella saadaan nopeasti ja tehokkaasti koko lattian ala mitattua. Nykyisissä laserkeilaimissa on myös tehokkaat kamerat, joilla saadaan pyörähdysvalokuvat kohteesta, jolloin lattioiden silmämääräinen tarkastelu onnistuu myös etänä.



Kuva 7. Leica RTC360 laserkeilain

Laserkeilaus suunnitellaan huolellisesti ennen mittauksen suorittamista. Työtapa ensin teipataan riittävästi A4-kokoisia tähyksiä (kuva 8) seiniin ja mahdollisiin pilareihin eri korkeuksille, jotta pistepilvet saadaan rekisteröityä riittävällä tarkkuudella toisiinsa. Nämä A4-tähykset mitataan takymetrillä tarkasti kiinni ennen tai jälkeen laserkeilauksen, näitä pistetietoja käytetään rekisteröinnissä sitomaan pistepilvet toisiinsa. Maahantuojat ja yleiset opetusmenetelmät suosivat ilman tähyksiä rekisteröintiä (pilvi vasten pilveä menetelmä), mutta kokemuksella saaduilla tuloksilla, se ei ole riittävän tarkka menetelmä lattian tasaisuuden laskemiseen pistepilvestä. (Liite 1, Pistepilvien rekisteröinti.)



Kuva 8. Laserkeilaus tähys

Laserkeilain tulisi asettaa mahdollisimman korkealle lattiapinnasta, jotta lasersäteiden osumiskulma olisi mahdollisimman optimaalinen. Mitä pidempi matka laitteelta, sitä enemmän lasersäde leviää lattiaan ja laskettavan yksittäisen pisteen sijainnin tarkkuus heikkenee. Tästä syystä tulisi suosia useita kojeasemia mahdollisimman korkealla jalustalla, jotta saadaan hyvän laatuista pistepilveä laskentaa varten.

4.2 Takymetri tai vaaituskoje

Takymetri on maanmittauksessa käytettävä mittalaite, jolla mitataan säteittäisesti eli polaarisesti pisteiden sijainteja kojeeseen nähden. Laite toimii säteittäisessä koordinaatistossa, mutta erilaisten ohjelmien avulla mittaustiedosta saadaan laskettua pisteille sijainnit suorakulmaisissa koordinaatistoissa. Takymetrillä siis mitataan kohteiden sijaintia vaaka- ja pystykulma- sekä etäisyshavaintojen avulla. Mittaajan on otettava huomioon ympäristön vaikutukset mittauksen aikana (olosuhteiden vaikutukset). Takymetrimittauksen tyypillinen tarkkuus huolellisesti tehtynä on +/- 2 mm +ppm.

Vaaituksen tarkoituksena on selvittää havainnoitavien pisteiden korkeus vaakasuorin havainnoin pystysuoraan lattiaan, jonka asteikko kasvaa alhaalta ylöspäin. Lattiaan suoritettavat havainnot tehdään yleensä pareittain ja näistä ensimmäistä kutsutaan taakse-havainnoiksi ja toista eteen-havainnoiksi. Taakse-havainto tehdään aina tunnettuun tai ennalta mitattuun pisteeseen, jolloin saadaan selville kojeen vaakatason korkeus, jonka jälkeen eteen-havainnolla saadaan laskettua halutun pisteen sijainti. Eteen-havaintoja voi olla useampi kerralla, jolloin saadaan vaaittua isompiakin lattia alueita kerralla. Tarkkavaaituksella päästään alle millimetrin tarkkuuksiin, kun taas perinteisellä optisella vaaituskojeella tarkkuus riippuu siitä, kuinka hyvin mittaja lukee latasta silmämääräisesti lukemia.



Kuva 9 Tarkkavaaituskoje ja invarlatta (6.)

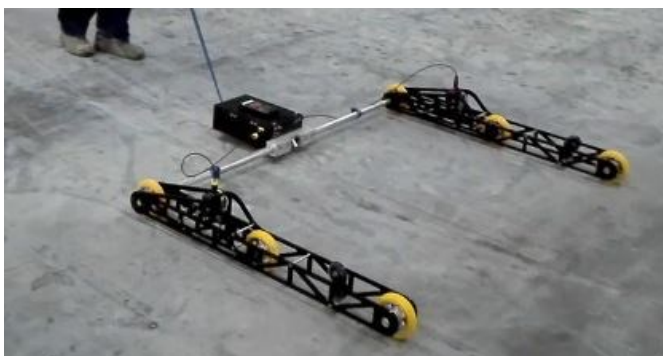
Lattian tasaisuus mitataan perinteisesti vähintään 2 m ruutuun vaaituskojeella tai takymetrillä ja mittaustulos ilmoitetaan 1 mm:n tarkkuudella pyöristäen lähimpään täyteen millimetriin (2, s. 19). Yleensä tämä katsotaan riittäväksi, mikäli pisteiden välillä ei suurta heittelyä ole.

Hyvä tapa olisi kuitenkin lisäksi tehdä pisteiden välistä tasaisuuden ja suoruu-
den tarkastelu mittalauta- ja kiilamenetelmällä RT-14-11039 kortin mukaisesti.
Nämä menetelmät ovat kuitenkin hitaita ja niissä on useita tarkkuuteen vaikutta-
via riskejä sekä työläs ja hidas dokumentointi.

4.3 Mittalauta- ja kiilamenetelmä tai profileograph

Mittalautaa ja kiilaa käytetään tasaisuuden toteamiseen asettamalla mittalauta
mitattavalle pinnalle korokkeiden varaan ja kiila työnnetään pinnan ja laudan vä-
liin tarkasteltaviin kohtiin, jolloin tasaisuuspoikkeaman voi lukea kiilassa olevalta
asteikolta (4. s. 3). Mittalauta ja kiila on standardisoitu tuote, eli sille on asetettu
tarkat määritykset valmistamista ja käyttöä varten. Tällä menetelmällä mitataan
tasaisuutta, ei vaaka- tai pystysuoruutta tai nimelliskaltevuutta. Mittalauta ja kii-
lasta on olemassa RT-kortti numerolla 14-11039.

Profileograph on mittalaite, jolla mitataan lattian tasaisuutta ennalta määritetyiltä
ruuduilta tai kulkureiteiltä. Suomessa ei profileographia kyselyjen perusteella ole
käytetty ollenkaan, vaikka sillä saadaan mitattua nopeasti isojakin alueita tar-
kasti. Profileographia työnnetään lattiaa pitkin eteenpäin ja se mittaa yhden tai
kahden vipuvarren avulla lattian muotoja digitaalisten anturien avulla. Näistä tu-
loksista saadaan raportti lattian muodosta kuljetulta reitiltä ja siitä voidaan li-
säksi laskea esimerkiksi, missä asennossa trukin kuorma olisi milläkin kohdalla
lattiaa, kun se on nostettuna vaikkapa 6 m:n korkeuteen.



Kuva 10 Profileograph

Laitteessa olevat sensorit mittaavat laitteen edetessä pyörien varassa olevien vipuvarsien ylös-alas-liikkeiden muutoksia, joiden muutokset tallentuvat laitteen muistiin. Tulokset näytetään lopuksi pituusleikkauksina, joista nähdään lattian muoto kuljetulta osuudelta. Tällä tavoin, esimerkiksi isojen teollisuusvarastojen trukgireitit voidaan mitata nopeasti ja tarkasti, kun laitteen mittausleveys säädetään trukin renkaiden leveydelle.

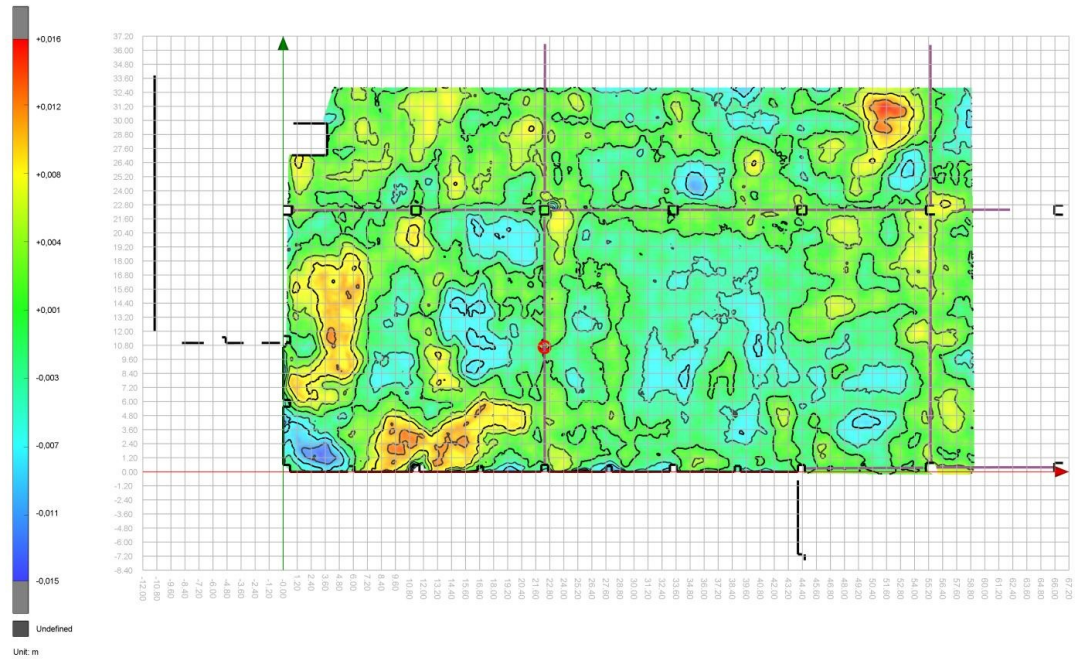
5 Betonilattian tasaisuuden toteaminen ja korjaaminen esimerkki kohteissa

Tässä työssä käytetään esimerkkinä uuden- sekä vanhan varaston lattiaita, jotka eivät täyttäneet suunniteltua tasaisuuden laatuvaatimusta. Halkeamat havainnointiin silmämääräisesti ja tasaisuus mitattiin käyttämällä laserkeilainta jolla saadaan aikaiseksi tarkka tasaisuuden raportti koko lattia-alueesta nopeasti. Laserkeilaustuloksen pohjalta lattioille tehtiin mittalauta ja kiila -menetelmällä tarkistuksia pienille alueille, joilla todettiin laserkeilauksen oikeellisuus. Lattian tasaisuutta tarkasteltiin Leica Cyclone 3DR ja 3D-Win -ohjelmilla. (7. ja 8.)

5.1 Uudiskohteen lattia

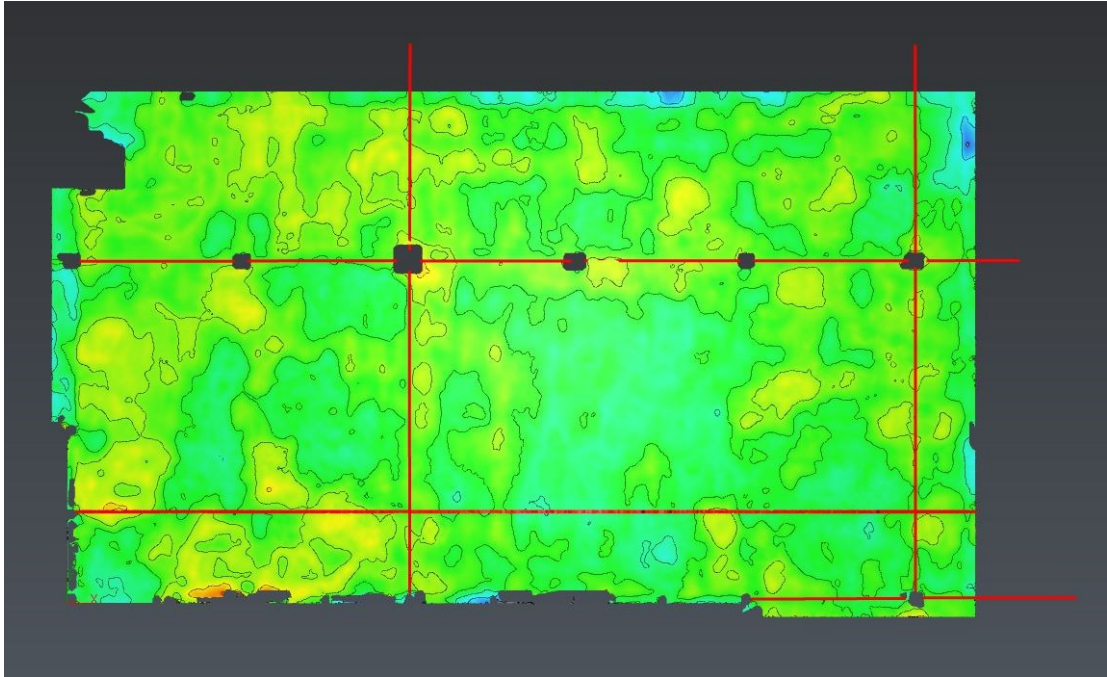
Ensimmäinen tarkastettava lattia sijaitsee Vantaalla ja on uudiskohde. Lattian pinta-ala oli noin 4000 neliometriä ja se tehtiin laserkeilaamalla. Lattiasta piti tietää kokonaisvaltaisesti tasaisuus nopealla aikataululla, joka oli todella tiukka, mikäli lattiaa pitäisi korjata ennen sen käyttöönottoa. Halkeamien havainnointi tehtiin silmämääräisesti, mutta alle 3 kk vanhassa lattiassa ei vielä halkeamia näkynyt. Lattian tavoitelaatu oli B-2-II.

Floor levelness / Gridi verkko 1,2 m ja korkeuskäyrät 4 mm välein / Korkeusvärtys matalimmasta kohdasta korkeimpaan (-15 mm - +16 mm).



Kuva 11. Ensimmäisestä mittauksesta saatu raportti lattian tasaisuudesta. (korkeuskäyrät 4 mm välein, lattian matalimman ja korkeimman kohdan korkeuseron ollessa noin 30 mm.

Kuten kuvasta 11 näkee, ei lattia kaikilta osin täyttänyt sille määriteltyä B-luokitusta. Lattian kriittisimmissä kohdissa oli alle metrin matkalla noin 12 mm pykälystä. Lattiaa korjattiin jyrsimällä mekaanisesti korkeimpia kohtia ja täyttämällä matalimpia alueita täytemassalla. Nämä alueet merkattiin laserkeilauksen pohjalta lattiaan takymetrin avulla ja tarkistettiin vesivaakalinjarilla sekä mittakiilalla että mitattu tulos piti paikkansa. Jyrsinässä kohdattiin ongelmia, kun ilmeni, että betonipeitettä oli paikoittain vain 20 mm vahvuudella yläpinnan raudoituksesta, mikä oli liian vähän, ottaen huomioon, että kyseessä oli maanvarainen betonilattia.



Kuva 12. Korjatun lattian tarkistusmittauksella saatu tulos, korkeuskäyrät 4 mm välein. Punaisella merkattu liikuntasaumojen sijainti.

Korjaustyön jälkeen koko lattia-alue päällystettiin 2 - 4 mm paksulla kerroksella epoksimassaa. Pinnoitteen kuivumisen jälkeen lattiasta tehtiin viimeinen laserkeilaus pinnan suoruuden toteamiseksi.

Työmenetelmänä lattian korjaaminen jyrsimällä ja täyttämällä oli hidasta ja työlästä, sekä vaati tekijältä suurta ammattitaitoa. Ongelmaksi muodostunut betonilattian yläpinnan raudoitus haittasi myös lopputulosta koska raudoitus oli paikoitellen vain 20 mm betoninyläpinnasta. Tästä syystä jouduttiin tekemään kompromisseja tasaisuuden suhteen ja nostamaan matalimpia kohtia hieman ylemmäksi täytemassalla, jotta saatiin raudoitus pysymään betonin sisällä.

Lattian alkuperäisen epätasaisuuden syy jäi selvittämättä, koska urakoitsijaa ei saatu vastaamaan kysymyksiin. Lattia oli täysin uusi, varastokäyttöön tehty lattia, joka näytti silmämääräisesti hyvältä.

5.2 Vanhan kohteen lattia

Tämän kohteen lattian pinta-ala on noin 2000 neliometriä. Lattia koostuu useista, liikuntasaumoilla toisistaan erotetuista laattamaisista alueista ja muutamasta kaivosta, joita ei edellisessä esimerkkikohteessa ollut. Lisäksi kohteessa oli myös valettu ohut betonipinnoite, joka lohkeili irti (kuva 13).

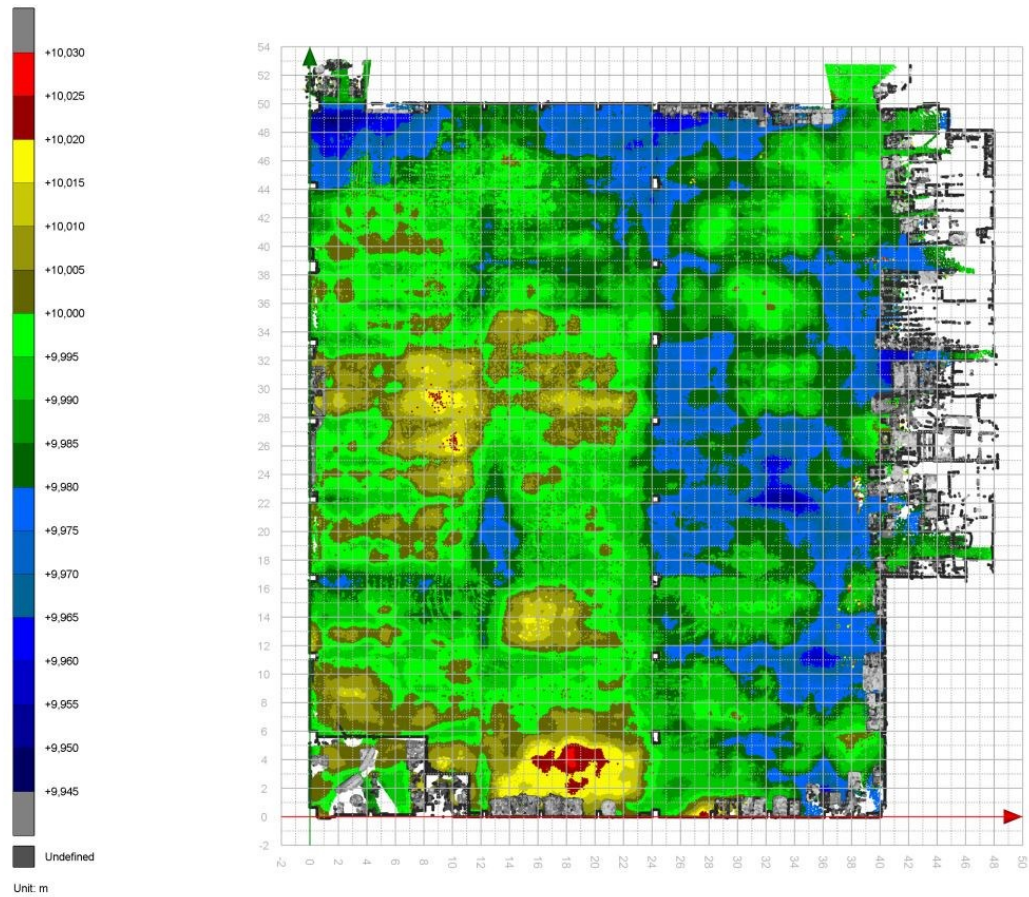


Kuva 13. Lohkeileva pinnoite sekä kaivo

Tässä kohteessa oli päätetty, että tehdään noin 40 mm tasoitevalu, jonka päälle tehdään epoksinpinnoite. Tällä tavalla esi- ja jälkityöstö olisi mahdollisimman vähäistä ja helppoa.

Lattiasta laadittiin laserkeilaamalla tasaisuustarkastelu, jonka perusteella tehtiin työsuunnitelma jyrsiä korkeimmat patit hieman alaspäin. Samalla irrotetaan vanha irtoava pinnoite sekä tehdään tasoitevalua varten tartuntapinta hio-malla/jyrsimällä. Lattiasta paljastui työn edetessä, että kellarikomeroitten hyllyt olivat olleet lattiaan kiinnitettynä 4 mm harjateräksillä, jotka oli upotettu yli 5 cm syvyydelle injektoimalla ne 2-komponenttimassalla. Nämä kaikki teräkset jouduttiin etsimään ja poraamaan mekaanisesti irti, jotta lattian jyrsiminen ja hionta onnistuisi ilman, että laitteen terää jouduttaisiin uusimaan jokaisella neliöllä.

Väriskaala 5mm välein



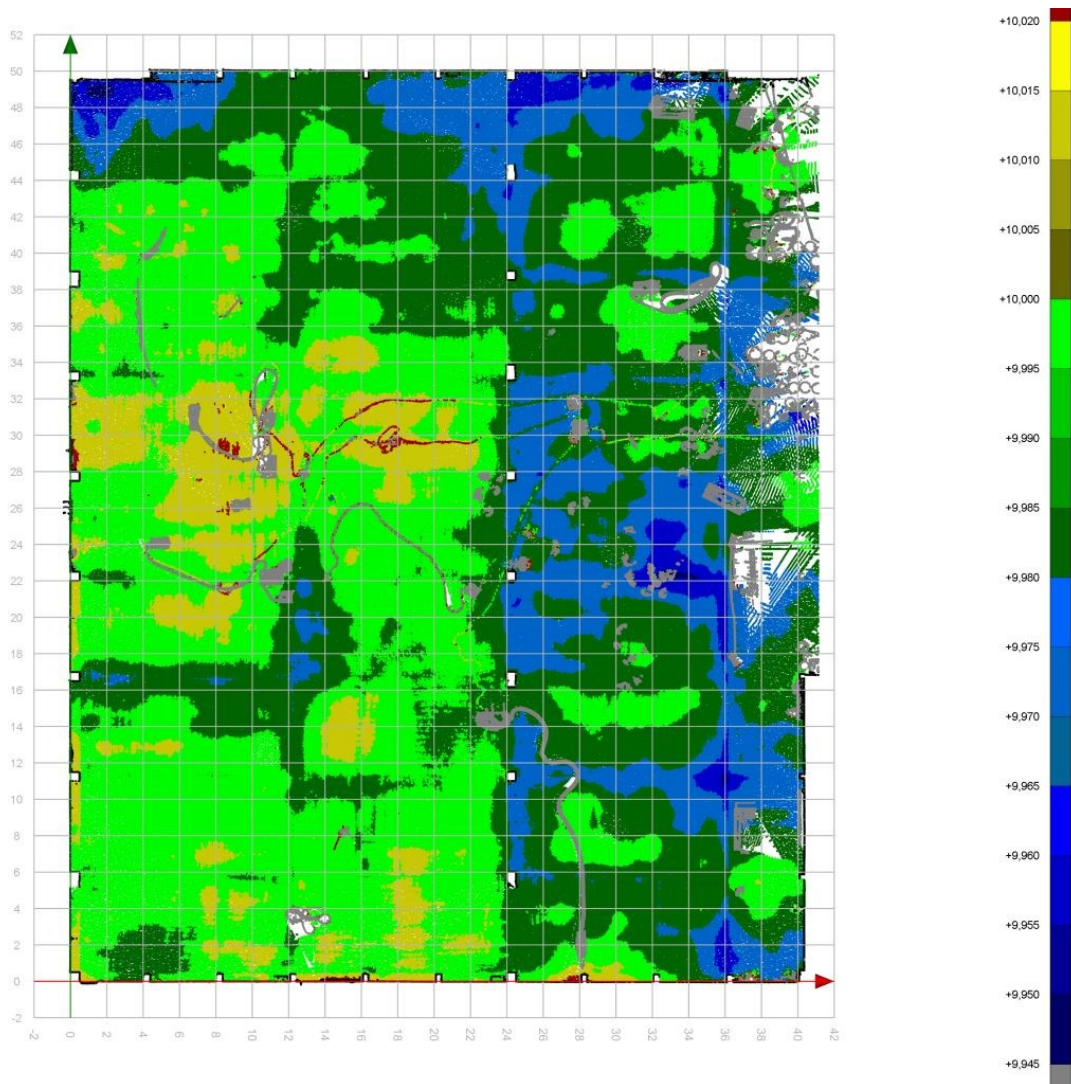
Kuva 14. Ensimmäisestä mittauksesta saatu raportti lattian suoruudesta ja tasoisuudesta.

Ennen lattian työstöä lattialle merkattiin korkeimmat alueet jyrshintää varten (kuvasessa 14 punaisella ja kirkkaan keltaisella olevat alueet).



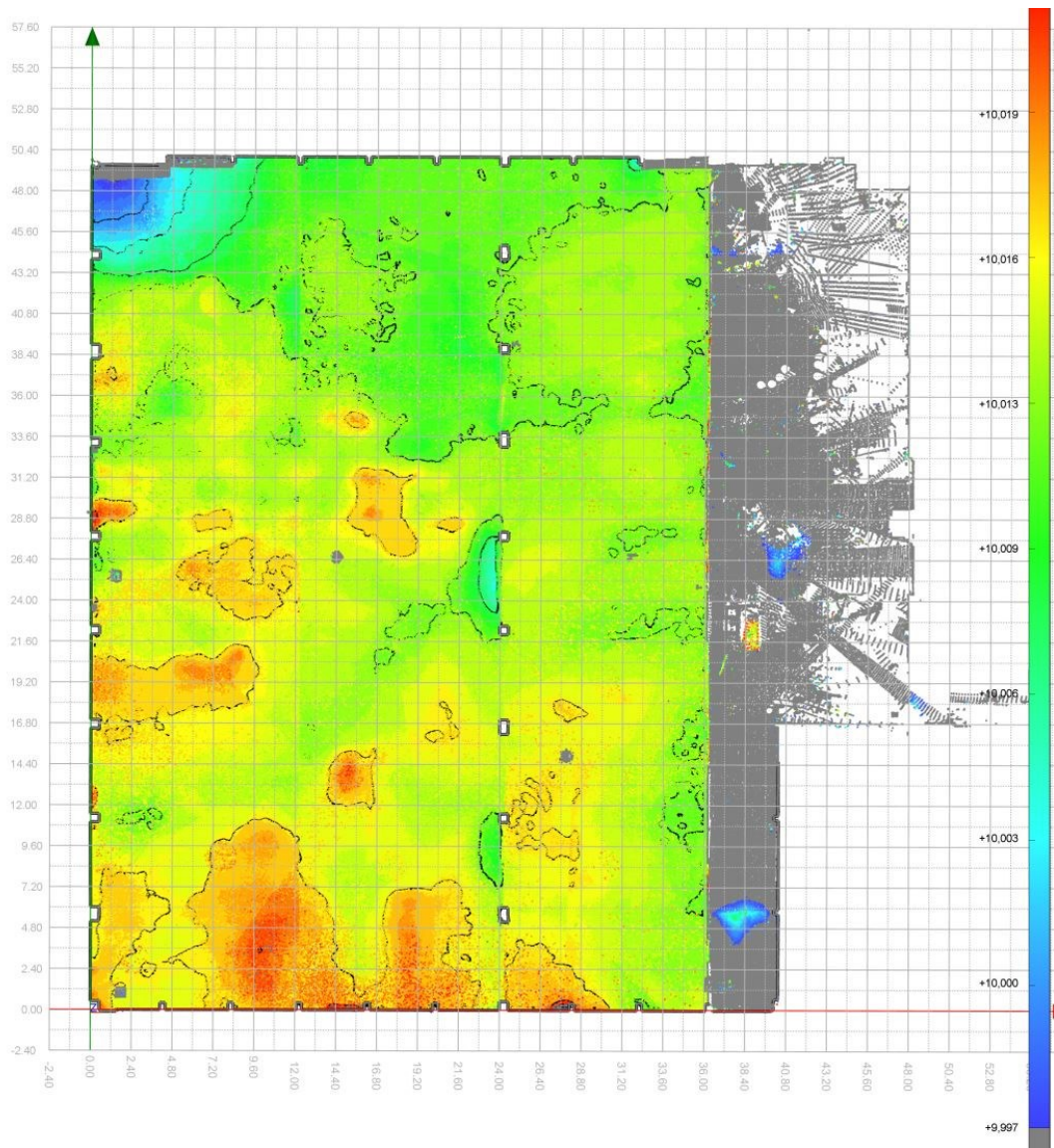
Kuva 15 Lattialle tehty tartuntapinta jyrsimällä.

Kun lattia oli jyrssitty ja hiottu, mitattiin se jälleen laserkeilaamalla, jotta voitaisiin varmistua, että lattiaa oli työstetty tarpeeksi (kuva 16). Saatujen arvojen perusteella määriteltiin keskiarvo vahvuus oikaisuvalulle ja päädyttiin noin 40 mm paksuuteen. Lattialle merkattiin muovisin korkomerkein valukorkeus muutaman metrin ruudukkoon tasolaserilla.



Kuva 16. Lattian tasaisuus toisen mittauksen jälkeen. Tämän perusteella lattian valu suunniteltiin. (Kuvassa harmaalla ja punaisella imureiden letkuja ja hiontalaitteiden sähköjohtoja).

Lattia mitattiin kolmannen kerran vuorokausi tasoitevalun jälkeen, jotta mahdolliset betonin plastiset kutistumat ovat varmasti toteutuneet ja betonin pinta muuttui enää mahdollisimman vähän mittauksen jälkeen. Oikaisuvalu oli onnistunut oikein hyvin, eikä lattialle tarvitse enää asentaa kuin pinnoite, jonka jälkeen tarkistetaan vielä kerran mittaamalla, että lattia täyttää tasaisuuden vaatimukset. Tämä sen vuoksi, että pinnoitteen paksuus tulee olemaan 2–4 mm ja kokemuksella se levittyy betonipinnan muodonmukaisesti tasaiseen vahvuuteen.



Kuva 17. Lattian tasaisuus oikaisuvalun jälkeen.

Menetelmänä oikaisuvalun tekeminen oli helpompi ja nopeampi sekä kestävämpi ratkaisu kuin uudiskohteen esimerkissä, jossa lattiaa pelkästään jyrstiin, paikkailtiin ja lopuksi pinnoitettiin. Oikaisuvalun tekeminen oli myös paremmin hallittavissa tasaiseksi koko lattian alueella kuin että lattiaa olisi lähdetty ensimmäisen esimerkin mukaisesti korjailemaan joka puolelta.

5.3 Halkeamaleveys

Esimerkkikohteissa ei silmämääräisesti havaittavia halkeamia ollut, joten tätä työtä varten käytettiin esimerkkinä Metropolian Myllypuron kampuksen lattiaa. Tämän rakennuksen lattiat ovat halkeilleet huomattavasti lyhyen käyttökänsä aikana.



Kuva 18. Halkeillutta lattiaa

Nämä halkeilut ovat hyvin todennäköisesti syntyneet plastisen vaiheen aikana, huonosta ilmankosteudesta kuivumisen kriittisellä hetkellä sekä liian notkeasta betonista.

Koska suurin osa betonin siirroista tapahtuu pumppaamalla, on hyvin suurena vaarana, että työmaalla hyväksytään liian notkea betoni, jolloin betonin sisältämä vesimäärä voi olla liian suuri. Liian suuri vesimäärä aiheuttaa betonin suuren kutistuman, mikä lisää halkeilun riskiä merkittävästi, varsinkin talvella, jolloin ilmaa lämmitetään laitteilla, jotka myös kuivattavat sitä tehokkaasti.

Kosteuden liiallinen tai hallitsematon haihtuminen lattiarakenteesta on merkittävin syy betonilattian halkeiluun. Riskialtimpia lattiarakenteita halkeiluille ovat suuret lattiapinta-alat ja ohuet betoni kerrokset, varsinkin holvirakenteissa, jolloin betonin vesisuhde pitäisi olla mahdollisimman pieni. Jälkihoidolla ei voida vaikuttaa kovinkaan paljoa kuivumiskutistumiseen, mutta sillä voidaan vaikuttaa ratkaisevasti ajankohtaan, jolloin kuivumiskutistuminen käynnistyy.

6 Yhteenveto

Betonin halkeiluun vaikuttavat monet eri tekijät, kuten alusta, kuormitus, kuivuminen ja betonimassan ominaisuudet. Käytännössä kaikki betonirakenteet halkeilevat ja tätä halkeilua pyritään hallitsemaan erilaisilla menetelmillä ennen valua, valun aikana sekä valamisen jälkeen.

Betonilattioissa on tärkeää tehdä pohjatöistä lähtien kaikki huolellisesti. Maanvaraisissa lattioissa ensimmäinen riskitekijä on pohjatyöt, epätasainen pohja altistaa helposti raudoituksen yläpinnan riittämättömään suojaetäisyyteen sekä betonia levitettäessä saman vahvuisella kerroksella työskentelyn edetessä tulee riskinä että pohjatyön epätasaisuus kertautuu valmiin lattian yläpinnassa. Holvirakenteissa on myös tärkeää huomioida esijännitetyt ontelo- tai kuorilaatat ja niiden tuoma korkeuden vaihtelu, jolloin olisi oleelliseen tärkeää, että mikäli lattia halutaan vaakatasoon, tulisi siihen merkitä tasaisesti korkomerkitöjä valun onnistumista varten. Myös riittävän hyvä jälkihoito on ehdottoman tärkeässä roolissa ehkäisemään halkeilua sekä takaamaan betonipinnan kestävä laatu ja tasaisuus.

Työmenetelmän vaikutus on myös oleellisessa osassa betonilattian onnistumisessa. Valamisen aikana on tiedettävä korkeusasema, ettei betonimassaa tule liian ohuelti tai paksult ja aikaa on seurattava herkeämättä, että levitys etenee tasaisesti ja jälkihoito on aloitettava juuri oikealla hetkellä.

7 Johtopäätökset

Betonilattioiden teknistä laatua mitataan hyvin koko prosessin ajan, oikean reseptin valinnasta valmiiseen lopputulokseen asti. Betonin lujuutta testataan puristuskokein, laatua seurataan tehtaalta pumpun kautta levitykseen, että massa on koko ajan oikeanlaista, valun aikana seurataan levitys korkeutta, massan notkeutta ja muita ominaisuuksia, jälkityöstö pyritään aloittamaan juuri oikealla hetkellä. Nämä kaikki asiat vaikuttavat haluttuun lopputulokseen. Valetun lattian ongelmat alkavat yleensä vasta usean kuukauden jälkeen valusta. Esimerkiksi lattian halkeilu havainnoidaan yleensä vasta viikkojen, kuukausien tai jopa vuosien päästä. Halkeilu on kuitenkin helppo havainnoida, koska halkeamat ovat yleensä silmämääräisesti helposti havaittavissa.

Betonilattioiden tasaisuus todetaan kuitenkin liian usein pelkästään silmämääräisesti ja/tai mittaamalla pieni alue kustannuksien säästämiseksi. Suurin vaikutus tasaisuuteen on valamisen aikana tehtävä levitys, että betonia tulisi mahdollisimman tarkasti valettua oikeaan korkeuteen, varsinkin isoilla pinta-aloilla tämä on hankalaa ja vaatii ammattitaitoisen ryhmän. Valmiin lattian tasaisuuden toteuttamiseksi on uusi teknologia kuitenkin tuonut nopeita ja kustannustehokkaita ratkaisuja tasaisuuden mittaamiseksi. Nämä menetelmät eivät ole vielä tarpeeksi säädeltyjä ja vaativat ammattitaitoa ja kokemusta onnistuakseen luotettavalla tarkkuudella. Varsinkin laserkeilauksella tuotettu raportti on helposti liian epätarkka, vaikka työmenetelmät olisivatkin oikeat.

Lattian valamisen työmenetelmät vaikuttavat suuresti lattian lopputulokseen ja oikein ajoitettu jälkityöstö on avain asemassa lattian onnistumisen kannalta. Hyvä valuporukka käyttää sujuvasti tasolaseria ja valaa lattian muutaman millimetrin suunnittelutasoa alemmaksi, koska kokemuksen perusteella lattian pinta hieman kohoaa betonin vetäytyessä ulkoreunoilta sisäänpäin kuivumisen aikana (plastinen kutistuma). Lisäksi, mikäli kohteessa on liikuntasauvoja, tulisi aina seuraavan lohkon valun aluksi tarkistaa viereisen lohkon korkeus ja valaa uusi alue samaan korkeuteen, mikäli se täsmää suunnitelmaan, pykälän välttämiseksi.

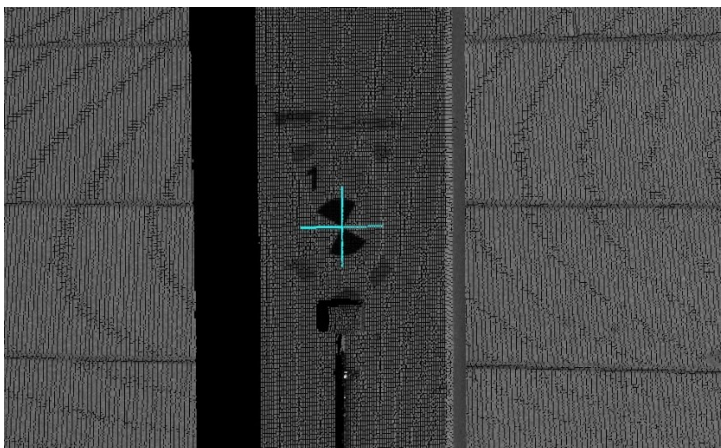
Lähteet

- 1 BY 201 Betonitekniiikan oppikirja 2018
- 2 BY 45 / BLY 7 Betonilattia 2023
- 3 Betonia Oy [https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/09/BET1103_56-58.pdf] betoni.com, luettu 18.10.2023
- 4 RT 14-11039 (elokuu 2011)
- 5 Face Consultants LTD, [<https://face-consultants.com/wp-content/uploads/2017/03/Page-38.pdf>], face-consultants.com, luettu 12.9.2023
- 6 Leica Geosystems Oy, [<https://leica-geosystems.com/fi-fi>] leica-geosystems.com/fi, luettu 30.9.2023
- 7 Leica Geosystems Oy, [<https://leica-geosystems.com/fi-fi/products/laser-scanners/software/leica-cyclone/leica-cyclone-3dr>], leica-geosystems.com/fi, luettu 30.9.2023
- 8 Novatron Oy, <https://3dwin.fi/> , luettu 30.9.2023
- 9 Face Consultants LTD, [<https://cogrigroup.com/wp-content/uploads/2021/05/3D-Scanning-vs-Profileograph-Floor-Flatness-Kevin-Dare.pdf>], face-consultants.com, luettu 2.2.2023

Laserkeilauksen rekisteröinti prosessikuvaus

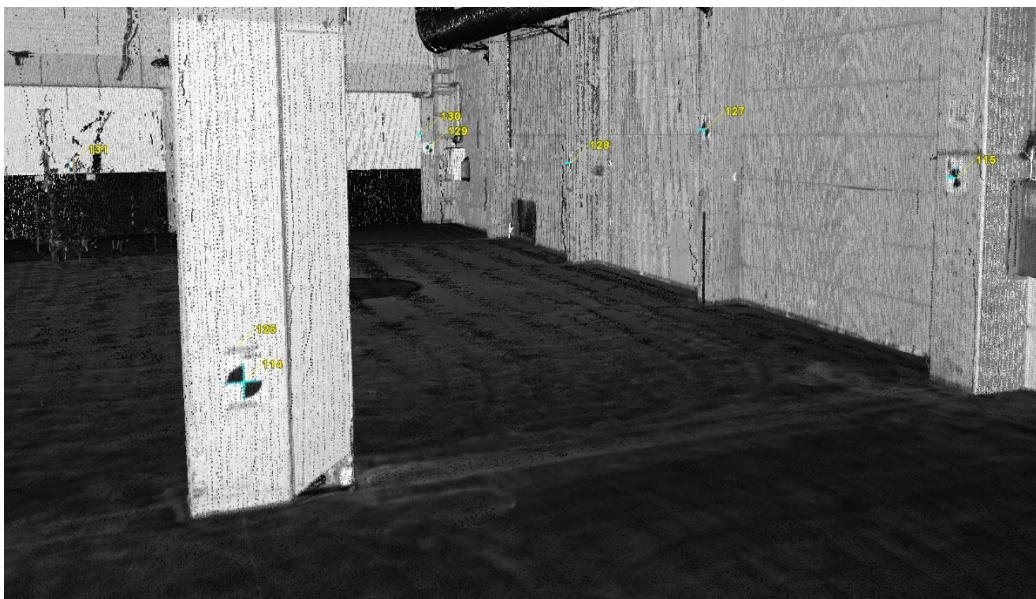
Laserkeilaus tehdään yksittäisiltä kojeasemilta, jotka yhdistetään toisiinsa kokonaisuudeksi rekisteröimällä pistepilvet toisiinsa. Näin saadaan yhtenäinen kolmiulotteinen mittatarkka kokonaisuus laserkeilatusta tilasta.

Kun haluttu kokonaisuus on laserkeilattu, rekisteröidään se kokonaisuudeksi. Rekisteröinti voidaan tehdä monella eri tavalla, yleisin käytetty tapa on pilvi vasten pilveä ja tähyksien yhdistelmä. Pistepilvet ladataan rekisteröinti ohjelmaan sisään, jonka jälkeen jokainen kojeasema tulisi käydä manuaalisesti läpi, jotta varmistutaan, että automatiikka on löytänyt kaikki käytössä olevat tähykset pistepilvestä.



Kuva 1. Tähyks pistepilvestä poimittuna käytettäväksi.

Samalla kun pistepilvestä käy tähykset läpi, tulee niistä siivota suurimmat heijastukset. Heijastuksia syntyy peileistä ja kiiltävistä pinnoista. Siivoamisessa yksittäisessä pilvestä valitaan katselusuunta niin, että kojeasemalta katsotaan heijastavaan pintaan ja leikataan pois sen sisällä oleva alue, joka yleensä on peili-kuva pinnasta heijastuvasta huoneesta, jota mitataan.



Kuva 2. Useita tähyksiä pistepilvessä

Kun tähykset ja heijastukset on käyty läpi ja siivottu, siirretään pistepilvet rekisteröitäväksi. Rekisteröinti prosessissa tietokone laskee valittujen tähyksien keskinäisen istuvuuden ja sitoo pistepilvet tähyksien avulla toisiinsa.

Registration: Registration 1

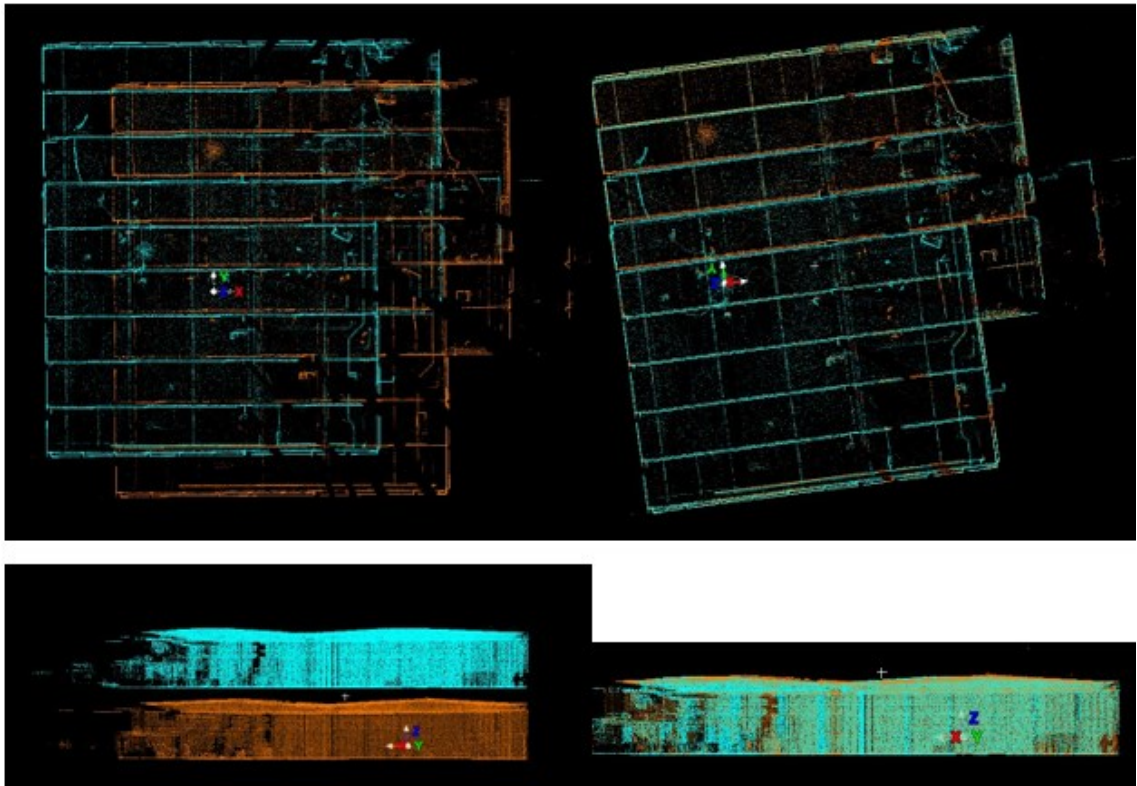
Registration Edit ScanWorld Constraint Cloud Constraint Viewers Visual Registration Help

ScanWorlds' Constraints Constraint List ModelSpaces

Groups/ScanWorlds/Constr...	Type	Status	Weight	Overlap Points	Error	Error Vector	Group Error	Group Error Vector
Ungrouped								
juvanmalmi1503a								
tahyt4.txt (Le...								
unlabeled - 111	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.001 m	(0.001, -0.001, 0.000) m	n/a	n/a
unlabeled - 107	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.002 m	(0.002, -0.001, -0.001) m	n/a	n/a
unlabeled - 108	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.003 m	(-0.001, 0.002, 0.001) m	n/a	n/a
juvanmalmi1503a1								
unlabeled	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.001 m	(-0.001, 0.000, 0.000) m	n/a	n/a
unlabeled	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.002 m	(-0.001, 0.000, -0.001) m	n/a	n/a
unlabeled	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.001 m	(0.001, -0.001, 0.000) m	n/a	n/a
juvanmalmi1503a1								
tahyt4.txt (Le...								
juvanmalmi1503a								
juvanmalmi1503a8								
juvanmalmi1503a7								
juvanmalmi1503a10								
juvanmalmi1503a11								
juvanmalmi1503a12								
juvanmalmi1503a13								
juvanmalmi1503a2								
juvanmalmi1503a3								
juvanmalmi1503a4								
juvanmalmi1503a5								
juvanmalmi1503a6								
juvanmalmi1503a7								
juvanmalmi1503a8								
juvanmalmi1503a9								
tahyt4.txt (Leveled)								

Kuva 3. Leica Cyclone Core -rekisteröintisivu ja tähyksien keskinäinen tarkkuus kahdessa pistepilvessä.

Mikäli lisäksi käytetään pilvi vasten pilveä menetelmää, kannattaa tähykset rekisteröidä ensiksi, jolloin pistepilvien kohdistaminen toisiinsa helpottuu.



Kuva 4. Pistepilvien kohdistaminen pilvi vasten pilveä menetelmällä. Ylempi kuvasarja tasolla (x- ja y-akseli) sekä alempi korkeudella (z-akseli).

Registration: Registration 1

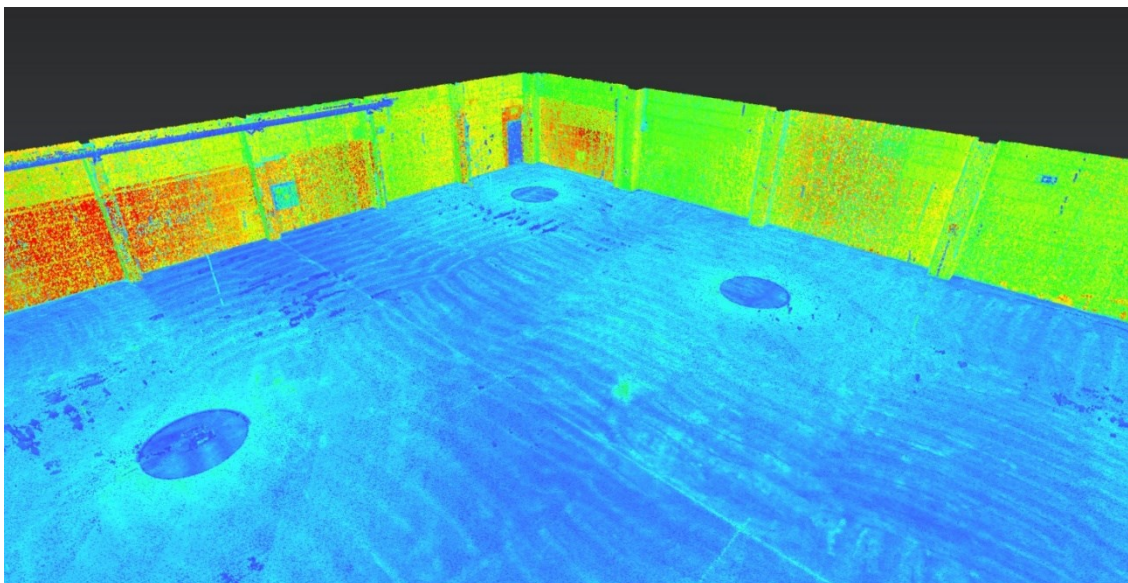
Registration Edit ScanWorld Constraint Cloud Constraint Viewers Visual Registration Help

ScanWorlds Constraints Constraint List ModelSpaces

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Overlap Points	Error	Error Vector	Group Error	Group Error Vector	Group
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.003 m	(0.002, 0.000, 0.002) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	juvanmalmi150...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.003 m	(0.002, -0.002, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.003 m	(0.002, -0.001, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.003 m	(-0.001, 0.002, 0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.003 m	(0.002, -0.001, 0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.003 m	(-0.002, 0.002, -0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.003 m	(0.002, 0.002, 0.002) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.003 m	(-0.002, -0.002, -0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.003 m	(0.002, 0.002, -0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.003 m	(-0.003, 0.001, -0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	juvanmalmi150...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.003 m	(0.001, 0.003, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.003 m	(-0.002, -0.003, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.003 m	(0.003, -0.001, -0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.003 m	(-0.002, -0.003, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.003 m	(-0.002, 0.002, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.003 m	(-0.002, -0.003, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.004 m	(0.000, 0.004, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.004 m	(0.002, -0.003, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.004 m	(-0.001, 0.003, 0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.004 m	(0.001, 0.004, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	juvanmalmi150...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.004 m	(0.000, 0.004, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.004 m	(-0.001, -0.004, -0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.004 m	(0.003, 0.003, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.004 m	(-0.002, -0.004, 0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	n/a	0.004 m	(-0.003, -0.003, -0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	juvanmalmi150...	Coincident: Vertex - Vertex	Off	1.0000	n/a	0.005 m	(0.005, 0.000, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	juvanmalmi150...	Coincident: Vertex - Vertex	Off	1.0000	n/a	0.005 m	(0.001, 0.005, 0.002) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	Off	1.0000	n/a	0.005 m	(0.004, 0.003, -0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	Off	1.0000	n/a	0.005 m	(-0.004, -0.004, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	Off	1.0000	n/a	0.006 m	(-0.003, -0.004, 0.002) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	Off	1.0000	n/a	0.006 m	(-0.003, 0.005, 0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	Off	1.0000	n/a	0.006 m	(0.006, 0.001, -0.002) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	Off	1.0000	n/a	0.006 m	(-0.002, 0.006, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	Off	1.0000	n/a	0.007 m	(-0.005, -0.005, -0.001) m	n/a	n/a	Ungrouped
39E unlabeled ...	juvanmalmi150...	tahyt4.bt (Lev...	Coincident: Vertex - Vertex	Off	1.0000	n/a	0.007 m	(-0.005, -0.006, 0.000) m	n/a	n/a	Ungrouped

Kuva 5. Listaus kaikista tähyksistä joita käytetään laskennassa. Näistä laitetaan pois käytöstä tähykset, joiden tarkkuus on huonompi kuin haluttu lopputulos.

Kun pistepilvet on rekisteröity keskenään, voidaan koko mitattua aluetta käsitellä kokonaisuutena. Tässä vaiheessa kannattaa tarkistaa, onko rekisteröinnissä huomattavia virheitä. Yleisin virhe on yksittäisen pistepilven joutuminen väärään sijaintiin jostakin syystä. Mikäli aineisto halutaan sitoa johonkin tiettyyn koordinaatistoon, voidaan se tehdä tässä vaiheessa ja rekisteröidä aineisto uudelleen kokonaisuutena haluttuun koordinaatistoon käyttämällä vähintään kolmea tähyistä koko mitatun alueen toisistaan kauimmaisista tähyksistä käyttäen.



Kuva 6. Rekisteröity pistepilvi, lattialla näkyvät ympyrät ovat kojeaseman alle muodostuneita aukkoja jokaisen yksittäisen pistepilven kohdalle.

Lopuksi aineisto kirjoitetaan ulos käyttöä varten sopivaksi. Tässä vaiheessa ennen uloskirjoitusta tulisi valita pistetiheys, jota halutaan käyttää, esimerkiksi 10 mm pistejaolla, joka tarkoittaa, että pisteet siivotaan algoritmilla niin, että pisteitä jää vain 10 mm etäisyydelle toisistaan. Varsinkin usean asemapisteen pistepilvet voivat sisältää satoja miljoonia ja jopa miljardeja pisteitä, joten on hyvä tapa keventää aineisto tarkkuuden kuitenkaan kärsimättä. Mikäli halutaan tarkkaa aineistoa, on yleensä 2 mm pistetiheys riittävä.



Kuva 7. Pistepilvessä näkyvä lattian jyrinnästä syntynyt pykälä. Kuvassa on siivoamaton yksi pistepilvi, jossa on noin 10 miljoonaa pistettä noin 2 mm pistetiheydellä.