

3D mätningar inom jordbyggnadsteknik

Jonas Klemets

Examensarbete för ingenjör (YH-)-examen

Utbildningsprogrammet för byggnads- och samhällsteknik

Vasa 2026

EXAMENSARBETE

Författare: Jonas Klemets

Utbildning och ort: Byggnadsingenjör, Byggnads- och samhällsteknik, Vasa

Inriktning: Infrastruktur

Handledare: Anders Ahlbäck

Titel: 3D mätningar inom jordbyggnadsteknik

Datum: 16.1.2026

Sidantal44

Abstrakt

Examensarbetet har utförts på företaget J-P Revahl Ab:s som är aktivt inom projektlednings-, planerings- och jordbyggnadsprojekt, på begäran. Kraven på företag som utför offentliga jordbyggnadsprojekt idag höjs hela tiden, vilket betyder att entreprenörerna inom denna sektor måste utbilda sig och införskaffa mera kompetens och dyr utrustning för att ha möjlighet att utföra de beställda arbetena.

Detta betyder då att entreprenörer behöver införskaffa 3D maskinstyrning till sina entreprenadmaskiner för att vara med och utföra olika projekt. Genom denna snabba utveckling på krav så hinner inte alla generationer med riktigt, vilket kan resultera i problem när det kommer till att hantera maskinstyrningen på ett arbetsområde. Det räcker nämligen inte med att man köper dyr utrustning till sitt entreprenadsfordon, man behöver även ha kunskap och förståelse för hur man skall använda den och hur den fungerar.

Syftet med detta examensarbete var att personal, ny som erfaren, skulle få en inblick i hur viktigt det är att man utför mätningar på ett korrekt sätt, betydelsen av inmätningar och vad inmätningar används till. Arbetet tar även upp hur mätosäkerhet, felkällor och kvalitetskontroll kan påverka slutresultatet samt hur korrekt inmätt data används vid kvalitetssäkring och slutdokumentation.

Arbetet innehåller även en fallstudie där 3D-mätningar tillämpades under ett verkligt jordbyggnadsprojekt för att visa mätprocessen, kvalitetskontrollen och användning av inmätt data.

Instruktionerna delades ut genom att personalen fick ett fysiskt dokument som innehöll en instruktionstext om hur de skulle scanna olika QR-koder för att få tillgång till instruktioner angående funktioner med 3D maskinstyrning i PDF-format och filmklipp.

Dessa instruktioner delas nu ut till all personalen som vi har i arbete, dessutom kommer all ny personal och nya underentreprenörer få ta del av detta för att få en bättre inblick i vad som krävs av dem.

Språk: Svenska

Nyckelord: 3D maskinstyrning, inmätning, novatron, mätdata

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Jonas Klemets

Koulutus ja paikkakunta: Rakennusinsinööri, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Vaasa

Suuntautumisvaihtoehto: Infrarakentaminen

Ohjaaja(t): Anders Ahlbäck

Nimike: 3D mittaukset maanrakennustekniikka

Päivämäärä 16.1.2026

Sivumäärä 44

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on laadittu J-P Revahl Oy:lle, joka toimii projektinjohto-, suunnittelu- ja maanrakennusalalla. Julkisia maanrakennusprojekteja toteuttaville yrityksille asetetaan nykyään yhä korkeampia vaatimuksia, mikä tarkoittaa, että tämän alan toimijoiden on jatkuvasti kehitettävä osaamistaan ja hankittava kalliita laitteistoja pystyäkseen täyttämään tilausten edellyttämät vaatimukset.

Tämä tarkoittaa, että urakoitsijoiden on hankittava 3D-koneohjauslaitteet osallistuakseen eri projekteihin. Näiden vaatimusten nopea kehitys aiheuttaa sen, että kaikki sukupolvet eivät pysy perässä, mikä voi johtaa ongelmiin koneohjauksen käsittelyssä työmaalla. Pelkkä kalliin laitteiston hankkiminen ei riitä, vaan tarvitaan myös tietoa ja ymmärrystä sen käytöstä ja toiminnasta.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli antaa sekä uusille että kokeneille työntekijöille käsitys siitä, kuinka tärkeää on suorittaa mittaukset oikein, mittausten merkityksestä ja mittausten käyttötarkoituksista. Työssä käsitellään myös sitä, kuinka mittausten epävarmuus, virhelähteet ja laadunvalvonta voivat vaikuttaa lopputulokseen sekä kuinka oikein mitattuja tietoja käytetään laadunvarmistuksessa ja lopullisessa dokumentoinnissa.

Työ sisältää myös tapaustutkimuksen, jossa 3D-mittauksia sovellettiin todellisessa maanrakennusprojektissa mittausprosessin, laadunvalvonnan ja mitattujen tietojen käytön esittelemiseksi.

Ohjeet jaettiin henkilöstölle fyysisenä dokumenttina, joka sisälsi ohjetekstin QR-koodien skannaamisesta, jotta saataisiin ohjeita 3D-koneohjaustoimintoihin pdf-muodossa ja videokosteita

Nämä ohjeet jaetaan kaikille nykyisille ja uusille työntekijöille sekä alihankkijoille että saavat nämä käyttöönsä saadakseen paremman käsityksen siitä, mitä heiltä vaaditaan.

Kieli: Ruotsi

Avainsanat: 3D koneohjaus, mittaus, novatron, mittaustiedot

BACHELOR'S THESIS

Author: Jonas Klemets

Degree Program: Construction engineering, Vaasa

Specialization: Infrastructure

Supervisor(s): Anders Ahlbäck

Title: 3D measurements in earthworks technology

Date 16.1.2026

Number of pages 44

Abstract

The thesis was conducted for J-P Revahl Ltd, a company actively involved in project management, planning, and earthen construction projects. The increasing demands on companies executing public earthwork projects requires contractors in this sector to continually acquire advanced skills and invest in high-cost equipment to effectively fulfil commissioned work.

Therefore, contractors must implement 3D machine control systems for their construction machinery to remain competitive in executing various projects. The rapid evolution of these requirements poses challenges across different generations, potentially leading to difficulties in managing machine control operations within work areas. It is insufficient to merely purchase expensive equipment for construction vehicles; comprehensive knowledge and understanding of its operation and functionality are imperative.

The objective of this thesis was to provide both new and experienced employees with a thorough understanding of the importance of accurate measurements, the significance of surveying measurements, and their applications. The thesis also discusses how measurement uncertainty, sources of error, and quality control can affect the result, as well as how correctly measured data is used in quality assurance and final documentation.

The thesis also includes a case study in which 3D measurements were applied during an actual earthworks project to demonstrate the measurement process, quality control, and use of measured data.

Instructions were distributed through physical documents containing guidance on scanning QR codes to access materials related to the functionalities of 3D machine control systems in PDF format and video clips.

These instructions are now being distributed to all current personnel and will also be shared with new staff and subcontractors to enhance their understanding of the expectations placed upon them.

Language: Swedish

Key words: 3D machine control, measurement, novatron, measurement da

Innehållsförteckning

	Förkortningar och förklaringar	
1	Inledning.....	1
1.1	Uppdragsgivare	1
1.2	Syfte och mål.....	1
1.3	Avgränsning.....	2
2	Kunskap om 3D-system.....	2
2.1	Signalproblem.....	3
2.2	Problemlösning angående kunskapen	4
2.3	Problemlösning angående signalproblematiken.....	4
3	Allmänt om mätteknik och geodesi.....	4
3.1	Geodesi.....	4
3.2	Satellitnavigation.....	5
3.3	Koordinatsystem.....	5
3.3.1	Koordinattransformationer	7
3.4	Höjdsystem.....	8
3.5	Noggrannhet och felkällor i 3D-mätning.....	8
3.5.1	Systematiska och slumpmässiga fel.....	9
3.5.2	GNSS-relaterade felkällor.....	9
3.5.3	Totalstation jämfört mot RTK-GNSS.....	11
3.5.4	Mätosäkerhetens påverkan på slutprodukten.....	12
4	Bakgrund till varför inmättningsdata behövs.....	14
4.1	Styrande handlingar	14
4.2	InfraRyl	14
4.3	YIV 2015.....	15
4.4	Mätning före projektstart.....	15
4.5	Mätning under projektets gång.....	16
4.6	Mätning efter slutfört projekt.....	16
5	Verktyg för inmätning	16
5.1	Totalstation (Takymeter)	17
5.2	GNSS mätstav.....	18
5.3	Funktioner för Surpad 4.0	18
5.4	Novatron 3d maskinstyrning	19
5.4.1	Komponenter	19
5.4.2	Display	20
5.4.3	Användning.....	21
5.5	Drönare/Flygscanning.....	23

6	Program för hantering av mätdata.....	24
6.1	3D-win.....	24
6.2	Molntjänst Xsite Manage.....	28
6.3	Mätdataans kvalitetssäkring.....	30
7	Fallstudie – Tillämpning av 3D-mätningar i anläggningsprojekt.....	32
7.1	Projektbeskrivning.....	32
7.2	Identifiering av tekniska problem.....	34
7.3	Val av metoder och tekniska lösningar	34
7.4	Utförande	38
7.5	Resultat.....	40
7.6	Analys	40
8	Diskussion.....	41
	Källförteckning	43
	Bilaga 1–12, Instruktioner för maskinstyrning	
	Bilaga 13–21, Instruktioner för Surpad 4.0	

Förkortningar och förklaringar

Modellbaserad maskinstyrning	Mätinstrument installerade på jordbyggnadsmaskiner, fungerar som hjälpmedel till chauffören vid schaktning och fyllning enligt planerat arbete. Genom detta utförs även inmätningar av monterat material som krossgrus, rör och ledningar
Inframodell	Tredimensionell digital ritning av konstruktionslager som används vid infrabyggnation
InfraRYL	Krav på dimensionering vid markarbeten. En allmän beskrivning av kvalitetskraven för infrastrukturbyggande, utformade av branschen.
YIV	Yleiset inframallivaatimukset. Rakennustietosäätiö och Building Smart Finlands bestämda direktiv för modellbaserade infrabyggnation

RTK	Real Time Kinematic, satellitnavigeringsteknik som används för att förbättra noggrannheten i GPS- och GNSS-positionering. Kräver dock fast basstation.
As-built	Digitala ritningar och dokument som visar vad som har konstruerats
GNSS	Global Navigation Satellite System, navigationssystem som använder signaler från satelliter
Takymeter	Kombination av en elektronisk vinkel- och avståndsmätare. Mätdata konverteras till koordinater och avstånd.
RTK-GNSS mätstav	Verktyg som används på fält av mätpersonal
N2000	Höjdsystemet som används vid mätningar i Finland
X = N-koordinat	N-koordinat (latitud), plankoordinatsystemets nordliga koordinat anger avståndet från ekvatorn
Y = E-koordinat	E-koordinat (longitud), anger avståndet för den östliga koordinaten från medelmeridianen
Z = h-koordinat	h-koordinat, höjd över havets normalvattenstånd
DOP-värden i GPS	Mätning av kvalitén på satelliters geometriska spridning
Geoidmodell	Är höjdmodellen i formatet FIN2005N00

1 Inledning

Detta examensarbete på ingenjörnivå behandlar tillämpningen av hur processen av 3d-inmätningar bör gå till ute på fält med grävmaskin eller RTK-GNSS mätstav.

Inom infrabranschen i dag så ställer kunder högre krav på jordbyggnadsentreprenören, skall man utföra större projekt så är ett minimumkrav att grävmaskinerna har installerat ett modellbaserat maskinstyrningssystem i maskinerna för att kunna utföra mätningar i samband med att man utföra själva grävarbetet. Genom att utföra mätningar på ett korrekt sätt, så säkerställs kvalitetsdokumentationen till slutkunden.

1.1 Uppdragsgivare

Uppdragsgivaren till detta examensarbete är J-P Revahl Ab. Företaget grundades år 2010 och har sedan dess varit aktivt inom hela Finland genom att betjäna privatpersoner, företag, organisationer, kommuner, städer och myndigheter med projektledning och -övervakning samt allt inom jordbyggnadsplanering och byggnadsplanering.

Företaget sysselsätter i dagsläget 8 personer på heltid och genom ett stort kontaktnät och goda samarbetspartners finns det möjlighet att använda sig av ett tjugotal underentreprenörer när det behövs. Företaget är stationerat i Karperö med en depå i Vikby, inom år 2025 kommer hela företaget att flyttas till Vikby depån där det skall byggas kontorsutrymmen. Detta kommer att leda till bättre effektivitet inom företaget när allting är samlat på ett och samma ställe vilket i sin tur kommer att gynna kunderna (Revahl, u.d.).

1.2 Syfte och mål

Syftet med detta examensarbete var att skapa en lättanvänd instruktionsmanual för nya och erfarna anställda, underentreprenörer och samarbetspartners som täcker J-P Revahl Ab:s behov inom 3d-mätningar med grävmaskiner och RTK-GNSS mätstav.

Delsyftet med examensarbetet är att personalen som använder sig av dessa mätverktyg skall ha en grundförståelse hur det hela är uppbyggt i korthet och hur man utför själva mätningarna på ett korrekt sätt. Målet är att det skall finnas en manual som består av ett lättläst dokument med instruktioner hur man utför olika moment och QR-koder som leder

till olika filmklipp där man ser hur man utför olika arbetsmoment. Filmklippen kommer att finnas tillgänglig på servern som lätt kan delas vidare genom whatsapp eller dylikt till personalen på fältet. Genom att dessa mätningar utförs på ett korrekt sätt kan personalen som skall hantera mätdata i sin tur utföra slutdokumentationen och kvalitetsgranskningarna på bästa sätt utan att det förekommer oklarheter.

Ett annat delsyfte med examensarbetet var att visa hur korrekta mätningar och systematisk kvalitetskontroll bidrar till minimering av felkällor, tillförlitliga mätdata samt hur man uppfyller toleranskrav som beställaren har. Detta framkommer det mera om i fallstudien där 3D-mätningar har tillämpats på ett verkligt projekt.

1.3 Avgränsning

Examensarbetet kommer begränsas till den operativa användningen av novatrons 3d - maskinstyrningsprogram för jordbyggnadsmaskiner och L5 mätstav med programvaran surpad samt databehandlings programmen Xsite Manage och 3d win som används inom jordbyggnadsprojekt hos J-P Revahl.

2 Kunskap om 3D-system

Ett väldigt stort problem med detta är den grundläggande kunskapen om 3d maskinstyrningen. Entreprenörer köper väldigt dyr utrustning utan att ha den kunskap som behövs för att kunna använda den på rätt sätt. Det borde ingå ett utbildningspaket med varje såld maskinstyrning för att få bukt på detta problem. I ett sådant utbildningspaket borde det åtminstone ingå hur man utför inmätningar, en förståelse av infrakoder och vad man kan ha för nytta av rätt inmätta punkter. Men det behövs även vilja att lära sig något nytt från entreprenörernas sida för att det skall lyckas, det är ju inget man "bara" kan köpa och tro att resten sköter sig självt.

Fördelar genom användning av 3D-system är minskad tidsåtgång vid projekt, effektivare planering, noggrannare mängdberäkningar, skapar möjlighet att simulera och analysera modeller redan i ett tidigt skede av projektet. Genom dessa fördelar förbättras dessutom kvalitetssäkringen när man kan skapa den i real-tid och visuellt.

Tyvärr finns det även nackdelar med dessa system. Det finns områden där det kan vara svårt att få tillräckligt med signalstyrka från satelliterna, systemen är väldigt dyra i inköp,

höga kostnader för licenser och tilläggsprogram. Personalens kunskap är bristfällig när det kommer till fullständig användning av systemen.

2.1 Signalproblem

Ett problem som uppenbarar sig ofta med mätningar är bristen på korrekt och pålitlig signal från satelliter. Vanliga orsaker som kan påverka antalet satelliter som man får kontakt med är stora/höga byggnader, skog/höga träd, berg och själva platsens position kan påverka om den är lågt belägen, se bild 1. (Lantmäteriverket, Finland, u.d.).

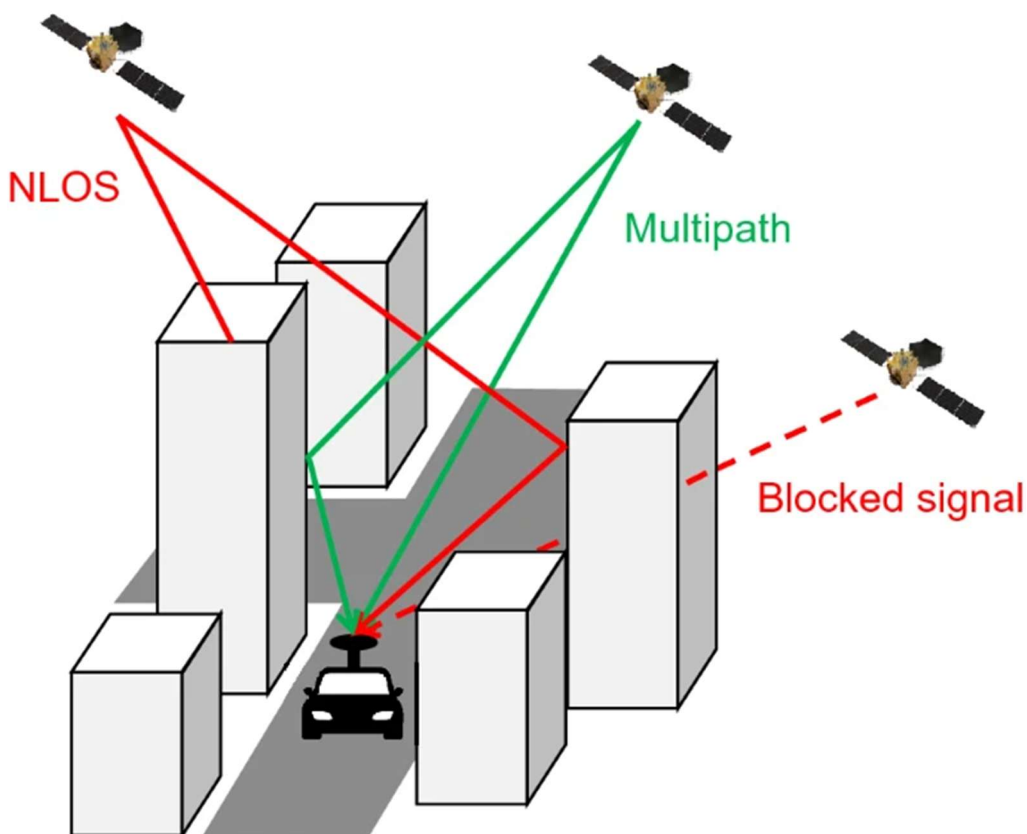


Bild 1. Denna bild visar hur signalstörningar kan uppstå (Springer Open, u.d.)

Antalet satelliter man får kontakt med är en viktig detalj som mät personalen måste hålla koll på, får man inte in tillräckligt med signaler till mätinstrumentet kan det uppstå felmarginal vid själva mätningen man utför. Det i sin tur kan ha väldigt stora konsekvenser, till exempel att antura/sockel bottnar blir fel konstruerade eller olika sorters rör blir monterade på fel höjd, vilket kan leda till extra arbete och fördröjningar i byggprojektet.

2.2 Problemlösning angående kunskapen

Lösning på kompetensen angående hantering av inmätning och hantering av data skulle vara att försäljare av maskinstyrningen skulle erbjuda en utbildning i samband med försäljning av programmen. Det borde dock finnas skilt skolningsprogram för personal som skall använda det i grävmaskin, mätning genom RTK-GNSS mätstav och för personal som skall hantera data.

2.3 Problemlösning angående signalproblematiken

Problematiken med signalerna kan lösas eller minskas genom att investera i en egen mobil basstation som installeras vid arbetsplatsen. Detta alternativ används oftast på större projekt om man upplever problem med signalerna.

Basstationen är en GNSS-enhet med en fastställd position som placeras på det aktiva arbetsområdet för projektet. Basstationen skickar RTK-korrigeringar till de aktiva maskinstyrningssystemen och de handhållna GNSS-enheterna som är inkopplade på projektet, detta resulterar i en mer exakt positionering (Real time kinematic, 2025).

3 Allmänt om mätteknik och geodesi

Detta kapitel behandlar mätteknik och geodesi i allmänhet och dess uppbyggnad, utifrån dessa två ämnen byggs inmätningar och kartläggningar upp vid ett jordbyggnadsprojekt. Kapitlet behandlar även betydelsen av termerna geodesi, satellitnavigation, koordinat- och höjdsystem vilket utgör grunderna för förståelsen av detta examensarbete.

3.1 Geodesi

Genom geodesimätning får vi hjälp med att bestämma en eller flera punkters exakta koordinatposition i referenssystemet som är uppbyggt runt jorden (Lantmäteriverket, Svergie, u.d.).

3.2 Satellitnavigation

I dagens läge används fyra navigationssystem mest, dessa utnyttjar signaler från olika satelliter och dessa är:

- ❖ GPS, amerikanskt utvecklat
- ❖ GLONASS, ryskt utvecklat
- ❖ Beidou, kinesiskt utvecklat
- ❖ Galileo, europeiskt utvecklat

Genom att signaler från minst fyra satelliter från ett av dessa navigationssystem når fram till en mottagare samtidigt blir det möjligt att utföra en beräkning genom en ekvation med variablerna latitud, longitud, altitud och tid. Genom att lösa ekvationen fås en position på det som mäts i realtid (Wikipedia, u.d.).

3.3 Koordinatsystem

I Finland används vanligtvis plankoordinatsystem som ETRS-TM35FIN och ETRS-GKn vilka är en del av ETRS89. ETRS är en förkortning av European Terrestrial Reference System, vilket i sin tur är namnet på själva koordinatsystemet. TM och GK beteckningarna står för själva kartprojekteringen och FIN står för den finska tillämpningen av UTM. Vi kan i Finland använda oss av ETRS-TM35 i huvudsak p.g.a. att hela landet befinner sig i en zon. Det är även möjligt att använda sig av ETRS-GKn plankoordinatsystemet, det är dock mera lokalt system där Finland är uppdelat i ett flertal olika zoner. (Lantmäteriverket Finland, 2010).

För att bestämma en exakt position för en punkt i ett ETRS-GK plankoordinatsystem behövs tre geodetiska koordinater, som vanligtvis beskrivs som N, E och h koordinater. När det gäller ETRS-GK plankoordinatsystem följer man följande beteckningar: N-koordinat plankoordinatsystemets nordliga koordinat anger avståndet från ekvatorn, E-koordinat anger avståndet för den östliga koordinaten från medelmeridianen, h-koordinat höjd över havets normalvattenstånd.

När det utförs mätningar med ETRS-GK koordinatsystem bör man kontrollera vilken kartprojektion som är i användning där man skall utföra mätningarna, detta kan man

kontrollera på bild 2 som visar hur kartprojektionerna är uppdelade i Finland (Lantmäteriverket Finland, 2010).

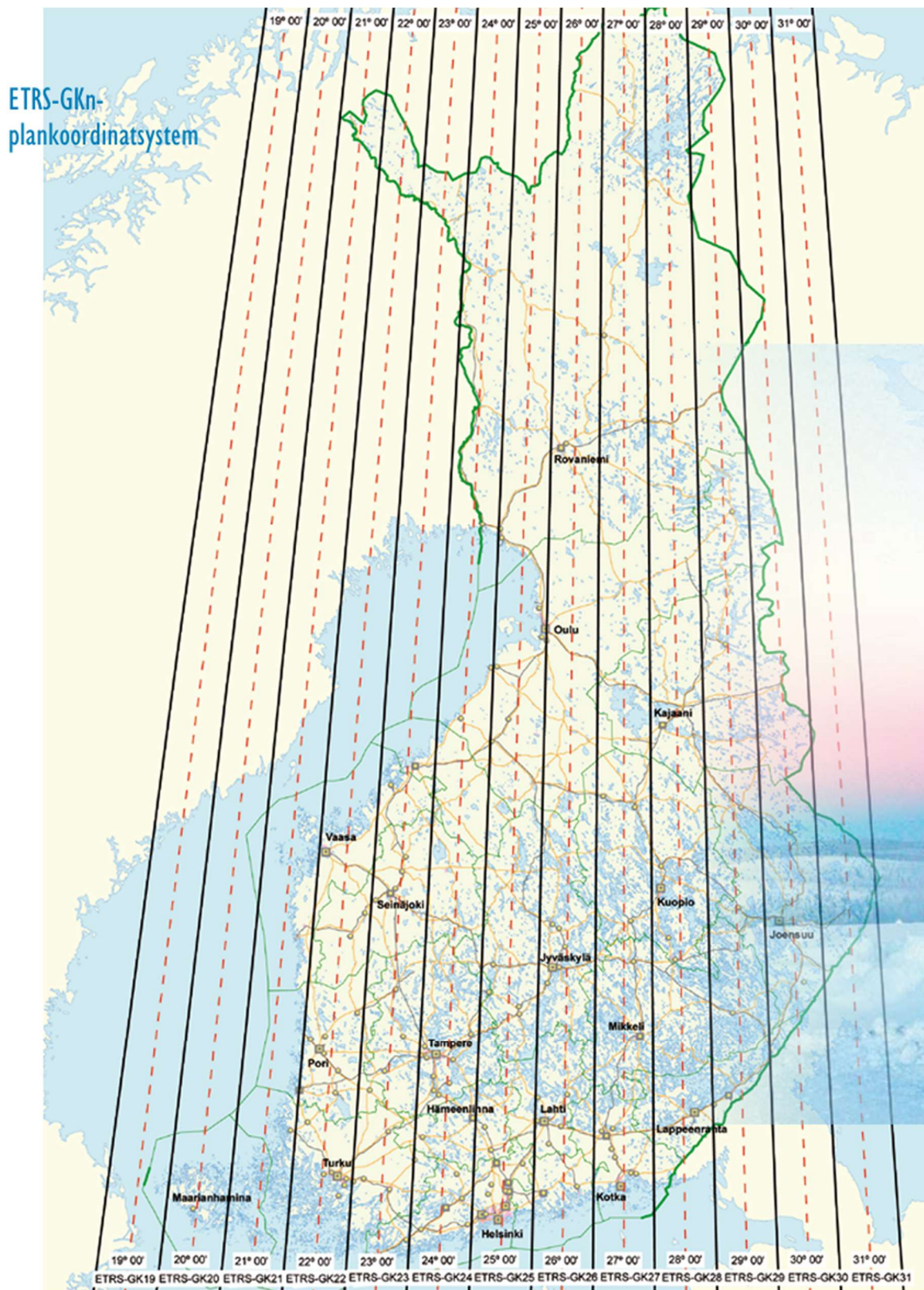


Bild 2. Denna bild visar hur GK-zonerna sträcker sig igenom Finland (Lantmäteriverket Finland, 2010)

3.3.1 Koordinattransformationer

Inom jordbyggnadsbranschen är det vanligt att koordinater behöver transformeras mellan olika referenssystem när man utför mätning och modellering. Detta beror ofta på att man inte inom projekteringen, maskinstyrningen och vid inmätningar använt sig av samma höjd- och koordinatsystem. Därav är transformationer en central del av det geodetiska arbetet och kräver en väldigt hög noggrannhet och medvetenhet för att undvika systematiska fel. Det beskrivs att transformationer mellan ETRS89-baserade system, såsom ETRS-GKn och ETRS-TM35FIN bygger på matematiska projektioner där jordens krökning avbildas över en plan yta. Använder man sig av fel projektion eller utför en transformation med fel parametrar kan det uppstå avvikelser på flera meter. (Maamittauslaitos, 2020b).

Detta innebär då i praktiken att en koordinattransformation har en punkt med kända koordinater i ett system och omvandlas/räknas om till motsvarande koordinater i ett annat system. För detta krävs det dock att man känner till det ursprungliga och det målbaserade koordinatsystemets egenskaper, dessa egenskaper är skalfaktor, falska koordinater och medelmeridian. Finland använder sig oftast av ETRS-TM35FIN som det nationella systemet medan ETRS-GKn används mera i lokala projekt. Den stora skillnaden mellan dessa är själva kartprojektionen, TM-systemet använder sig av en zon över hela landet medan GK-systemet är uppdelat i flera smalare zoner som går horisontellt genom landet. Utförs en inmätning utanför den tänkta GK-zonen hamnar koordinaterna långt ifrån sin verkliga position och man får del utsättning samt fel maskinstyrningsmodeller.

Transformationer används även när höjdsystemen skall anpassas till rätt system. I dagens läge används systemet N2000, men det finns även en hel del kartor och ritningar som inte har uppdateras under åren. Därav finns det en hel del som är i systemen N60 och N43, detta bör alltid granskas när man påbörjar ett projekt för att undvika fel höjdmätningar. Genom att använda sig av officiella geoidmodeller kan man undvika dessa systematiska höjdvavikelser. (Maamittauslaitos, 2020b). Används fel geoidmodell kan det förekomma höjdskillnader på flera centimeter vilket är väldigt kritiskt vid arbetsmoment där toleranserna är minimala.

Koordinattransformationer är en integrerad del av arbetsflödet när det kommer till maskinstyrningssystemen för entreprenadmaskiner. Entreprenadmaskinens bör tolka de projekterade modellerna i samma koordinatsystem som själva GNSS-mottagaren arbetar i.

Är modellen skapad i fel zon alternativ i fel höjdsystem visar maskinen fel positionering, vilket leder till väldigt omfattande fel i själva arbetsutförandet. Därav är det väldigt viktigt att utföra transformationer innan arbetet påbörjas och därefter kontrollera så att modellerna, inmätningar och utsättningar är i rätt system. Detta kontrolleras även genom att man följer kraven på att utföra kontrollmätningar på utsatta referenspunkter utlagda med totalstation (Maanmittauslaitos, 2020b). Är det flera olika entreprenörer på samma arbetsområde som utför arbeten parallellt är detta väldigt viktigt att kontrollera, detta på grund av att mätdata delas mellan maskinerna kontinuerligt.

Sammanfattningen av detta är att koordinattransformationer är ännu en väldigt kritisk del av mätprocesserna i ett jordbyggnadsprojekt där det krävs en väldigt hög nivå av teoretisk förståelse och praktisk noggrannhet. För att lyckas genomföra ett projekt på bästa sätt. Utförs transformationer felaktigt kan det leda till stora avvikelser i positioneringen vilket i sin tur påverkar hela projektet kvalitet och ekonomi. Användning av korrekta geoidmodeller, transformationsmodeller och projektioner kan man säkerställa mätdatans kvalitet och att konstruktionerna byggs enligt upplagda krav och projekterade förutsättningar.

3.4 Höjdsystem

Finland använder sig numera av höjdsystemet N2000. Tidigare användes NN, N43 och N60, vilka även kan förekomma i dagens läge om det gamla kartor används. N2000 höjdsystemet anger markytans höjd och havsvattenståndet.

Detta är Finlands förverkligande av det europeiska gemensamma höjdsystemet, vilket har definierad utgångsnivå av nollpunkt NAP i Amsterdam (Traficom, u.d.). Höjdsystemet utgår från medelnivån av havsytan, vilket även är känt som en nollnivå för höjdsystemet. Ett höjdsystem fungerar som ett referenssystem för höjder eller geoiden och gör det möjligt att exakt fastställa höjden över havet för alla punkter i höjdnätet. Dessa punkter kallas även för fixpunkter. (Ågren & Hauska, 2012a).

3.5 Noggrannhet och felkällor i 3D-mätning

Noggrannheten i mätningar är den mest betydande och avgörande faktor när det kommer till jordbyggnadsteknik. I dagens moderna projekt inom jordbyggnad och infrastruktur

används 3d-mätningar och GNSS-baserade system som primära redskap för att hjälpa entreprenadmaskiner, säkerställa att olika konstruktionslager uppfyller kraven från InfraRYL och att dokumentera utfört arbete. Felaktiga inmätningar kan leda till katastrofala avvikelser i sid- och höjdläge vilket kan leda till att man måste gräva upp en konstruktion igen för att påvisa att det är rätt konstruerat, vilket i sin tur leder till förseningar och extra kostnader.

3.5.1 Systematiska och slumpmässiga fel

Man delar vanligtvis upp mätfel i två olika kategorier, dessa två är systematiska och slumpmässiga mätfel. Indelningen används i tekniska manualer och vid akademisk geodesi för GNSS-utrustning. (Ågren & Hauska, 2012b; Trimble, u.å.).

Dessa systematiska fel orsakas av ett flertal orsaker som bristande kalibrering av entreprenadfordonets sensorer, instrument fel eller felaktig nollställning av instrument, fel koordinatsystem eller GK-zon, fel inställd antennhöjd och fel geoidmodell. Genom dessa fel kan man få avvikelser på flera centimeter eller ännu mer i både sid- och höjdläge, vilket kan bli väldigt kostsamt både ekonomiskt och tidsmässigt för ett projekt. För att undvika dessa fel bör personalen vara väldigt uppmärksam för att ta fast problemen i tid, dessa fel kan åtgärdas ganska snabbt och lätt av personalen. (Lantmäteriverket, 2010).

Slumpmässiga fel orsakas däremot av andra faktorer som är svårare att hantera, dessa faktorer är till exempel atmosfäriska variationer, variationer i satelliternas positionering och signalbrus. Dessa fel kan minimeras genom att utföra upprepade mätningar och statistisk analys. (Trimble, u.å.).

3.5.2 GNSS-relaterade felkällor

Själva noggrannheten i en GNSS-mätning kan påverkas av ett flertal externa faktorer som tillsammans kan skapa en betydande osäkerhet i både höjd och sidled vid själva mätning utförandet, dessa faktorer beskrivs enligt följande:

En av de största faktorerna är den jonosfäriska påverkan, den uppstår genom att det förekommer variationer i jonosfärens elektronhalt som förändrar själva signalens gångtid mellan mottagaren och satelliterna. Detta är den största atmosfäriska felkällan vid en

GNSS-mätning, dessutom förstärks effekten för denna felkälla vid hög solaktivitet (Lantmäteriet, 2020). Finland ligger på ett relativt högt latitudområde, vilket betyder att vi är mera utsatta för dessa variationer. Detta leder ofta till variationer i höjderna vid mätningar, dålig eller förlorad RTK-fix signal och en allmänt instabil position signal.

En annan faktor som påverkar GNSS-signalen är den troposfäriska faktorn. Den påverkar dock genom att det uppstår variationer i lufttryck, temperaturer och luftfuktighet vilket orsakar en viss fördröjning. Troposfärens påverkan är dock stabilare än jonosfärens, men den kan ändå ge märkbar höjdavvikelse, speciellt när vi har kraftiga väderomslag eller väldigt hög luftfuktighet. Detta resulterar i att Z-koordinaten oftast är den mest osäkra faktorn när man utför RTK-mätning, även om man har en bra satellitgeometri. (Lantmäteriet, 2020).

En tredje faktor som påverkar GNSS-signalen är Multipath vilket innebär att GNSS-signalen speglas mot objekt i direkt närhet innan de når fram till själva mottagaren. Multipath är en av de vanligaste faktorerna till störningar i Finland, speciellt när man utför arbeten i direkt närhet till byggnader, bergsväggar och täta skogsområden. Under dessa omständigheter påverkas mottagaren på följande sätt. Mottagaren får i detta fall in både den direkta signalen och den reflekterade signalen på samma gång, vilket resulterar i felaktiga positionsberäkningar. Detta leder till felaktiga Z-värden, ostabil fix-signal felaktiga inmätningar. (Traficom, 2024). Utöver speglingen av signaler vid multipath kan det även förekomma fysisk blockering av satellitsignalerna som orsakar problem. GNSS-signalen kräver fri sikt mot himlen, därav kan hinder som byggnader, terrängskuggning och träd minska antalet synliga satelliter. När antalet signaler från satelliter minskar försämras också noggrannheten och i värsta fall tappar mottagaren helt möjligheten att beräkna en exakt position. Detta är återkommande problem som vi upplever vid arbetsområden som är i skogs- och i tätbebyggda områden.

Satellitgeometrin är även en faktor som påverkar kvalitén för mätningar. Detta innebär då hur satelliternas inbördes positioner är vid själva mätningstillfället. Man har även utvecklat ett system för att kontrollera dessa värden som betecknas DOP-värden. DOP-värden använder man för att bedöma själva geometriens kvalitet (Lantmäteriet, 2020). Har man låga DOP-värden 1–2 vid mätningar innebär det att satelliterna är gynnsamt placerade och ger utmärkt noggrannhet, värden mellan 2–5 är tillförlitliga, 5–10 är ännu acceptabla men

överstiger värdena över DOP-värdena över 10 innebär att satelliterna är för nära varandra i rymden, vilket ger en osäker i positionssignal. När det förekommer dålig satellitgeometri förstärks även effekten av både jonosfäriska och troposfäriska fel.

Vi har även faktorn av radiointerferens som påverkar GNSS-signalen. Enligt rapporter drabbas Finland regelbundet av dessa störningar i satellitnavigeringen, dessa störningar är både avsiktliga och oavsiktliga (Traficom, 2024). Radiointerferens kan orsakas ett flertal orsaker som militära störsändare, felaktiga radiosändare eller industriell elektronik. Genom dessa störningar kan man förlora GNSS-signalen helt, ha en instabil RTK-signal och/eller kraftigt försämrade noggrannhet.

Slutsats av detta innebär att dessa faktorer alltid skall tas i beaktning vid GNSS-mätningar, dessutom måste personalen ha en medvetenhet om väderförhållanden, omgivningen och de tekniska begränsningar som kan uppstå. Därav är det väldigt avgörande att entreprenörer och personal har en förståelse hur faktorerna jonosfär, troposfär, multipath, signalblockering, satellitgeometri och interferens påverkar mätningarna som utförs på en arbetsplats för att bättre kunna bedöma mätresultatets kvalitet och snabbt kunna reagera på vilka åtgärder som bör åtgärdas om fallet är så att signalkvaliteten inte är tillräcklig.

3.5.3 Totalstation jämfört mot RTK-GNSS

Inom modern mätningsteknik används oftast mätmetoderna totalstation eller RTK-GNSS, dessa två mätningstekniker lämpar sig för olika typer av noggrannhetskrav och arbetsmiljöer.

Totalstationen använder sig av optisk teknik vilket betyder att det behöver vara fri sikt mellan själva instrumentet och prisma. I praktiken betyder det att denna mätmetod är mindre känslig för osäkerheterna som kan uppstå av satellitgeometri och atmosfäriska störningar, dock krävs det att terrängen inte skymmer siktlinjen mellan instrumentet och prisma. Denna mätmetod används ända ofta på arbetsområden i direkt närhet av höga byggnader, tät skog och tätbebyggda områden var GNSS signaler kan störas av blockering, multipath och bristfällig satellitgeometri. Genom mätningar med totalstation kan personalen uppnå precisioner på millimeternivå i både höjd- och sidled, vilket oftast är krav vid olika arbeten som rörläggning, olika kontrollmätningar och inmätningar av konstruktioner. (Maanmittauslaitos, 2020a).

RTK-GNSS mättekniken baserar sig på att mottagaren har bra möjlighet att ta emot signaler från flera satelliter samtidigt, vilket betyder att denna mätteknik används vid arbetsplatser där man har fri sikt mot himlen och det inte finns några hinder som påverkar signalkvalitén. Vid gynnsamma förhållanden kan man uppnå en noggrannhet på några centimeter i både höjd- och sidled vilket bra räcker till vid arbeten schaktning, grovfillning och där snabbhet och flexibilitet är avgörande. Denna mätteknik används ofta på olika arbetsplatser och är särskilt effektiv på det sättet att man inte behöver flytta några enskilda instrument under mätningarna som med totalstationerna. Själva mätningen utförs med ett entreprenadsfordon eller en GNSS mätstav som är väldigt lätt att ha med på arbetsfältet. (Lantmäteriet, 2020).

Summerar man dessa två mättekniker så kan man säga att de kompletterar varandra väldigt väl. Totalstationen ger bästa möjliga precision i mätningarna på trånga och komplexa arbetsområden, medan RTK-GNSS ger flexibla, effektiva och snabba mätningar på arbetsområden med öppnare miljöer (Traficom, 2024). Båda mätteknikerna är viktiga på projekt där det finns krav av inmätningar, man bör alltid använda sig av att lägga ut så kallade fixpunkter (referenspunkter) med totalstationen där personalen på fältet kan utföra sina kontrollmätningar med RTK-GNSS instrumenten. Detta gäller för alla entreprenads maskiner som utför mätningar och även för montörer som kontrollmåtar monterat material med laserinstrument.

3.5.4 Mätosäkerhetens påverkan på slutprodukten

En central faktor vid jordbyggnadsprojekt är mätosäkerheten eftersom den direkt påverkar kvalitén, livslängd och konstruktionernas funktioner. Detta betyder i praktiken att det de inmätta värdena alltid avviker något från verkligheten, dessa avvikelser kan få betydande konsekvenser ifall de inte hanteras systematisk. InfraRYL har klara direktiv på krav och toleranser för x, y och z koordinater vid olika konstruktionsskeden, för att kontrollera att man är inom toleranserna bör man utföra kontrollmätningar på en utmärkt referenspunkt varje vecka för att kunna verifiera att man uppfyller beställarens krav. Lyckas inte denna verifiering och mätosäkerheten är större än toleranserna riskeras det att slutprodukten inte fungerar som den är tänkt. (Rakennustieto, 2025).

Vid rörmonteringar kan även små höjdavvikelser ha en betydande faktor och leda till stora konsekvenser. Monteras rörledningarna med fel höjder kan man få bakfall och stående vatten i rören vilket kan orsaka driftstörningar och behov av att utföra ombyggnad av rörledningarna. Därför är det viktigt att använda sig av linjelaser när man utför kontrollmätning på monterade rör, med hjälp av utsatta referenspunkter från en totalstation får man z-koordinaten man behöver för att kontrollera detta. Vid detta moment är det viktigt att komma ihåg att man inte kan förlita sig på RTK-GNSS mätningar från maskin eller GNSS stavar på grund av känsligheten av signalerna och att man inte kan uppnå kraven på toleranserna. (Lantmäteriet, 2020).

Även under schaktningsarbeten och fyllning av konstruktionslager kan mätosäkerheten leda till väldigt betydande avvikelser, vilket kan resultera i dyra ombyggnationer. Bli skaktbotten för djup krävs det onödigt mycket fyllnadsmaterial vilket ökar kostnader och bärigheten negativt. Bli däremot en skaktbotten för grund påverkas överbyggnadslagret och blir för tunt och försämrar bärighet samt konstruktionens livslängd. Även här uppger InfraRYL tydliga krav på lagerkonstruktioner och toleranser för olika materialskikt, dessa krav bör följas för att säkerställa funktionen för konstruktionen (Rakennustieto, 2025). Ifall man inte upptäcker eller tar i beaktan mätosäkerheten vid dessa utföranden kan man i värsta fall bli tvungen att göra om hela konstruktionslagret.

Vid projekt där man använder sig av GNSS relaterade mätningar kontinuerligt bör därför utföra kontrollmätningar vid referenspunkter utsatta av totalstationer regelbundet. Detta är särskilt relevant för entreprenadmaskiner eftersom deras skopor hela tiden utgår från GNSS-positionen där dom utför arbetet. Utförs inte dessa kontroller kan det i värsta fall resultera i att maskinerna arbetar med felaktiga höjdvärden, vilket kan resultera i fel konstruerade konstruktionslager, ojämna ytor, felaktiga lutningar eller andra avvikelser som upptäcks först vid slutmätningar och kontroller.

Slutligen påverkas även slutdokumentationen av mätosäkerheten, mätdata lämnas in till slutkunden när ett projekt är färdigt. Denna as-bult data skall slutkunden kunna förlita sig på vid framtida driftstopp, ombyggnationer och underhåll. Innehåller as-built datan osäker mätinformation kan det skapa stora problem vid framtida arbeten eftersom dokumentation inte är tillförlitlig och inte beskriver konstruktionens verkliga utseende. För

att man effektivt skall kunna använda sig av as-built datan för framtida projekt bör den därför varar så korrekt som möjligt. (Maanmittauslaitos, 2020a).

4 Bakgrund till varför inmättningsdata behövs

För att lyckas med ett projekt behövs en bra grundplanering. Detta grundar sig från början på mätdata från projektets arbetsområde som omvandlas till planering för att därefter skickas med i offertförfrågan till olika entreprenörer. Genom denna utdelade information kan entreprenörer utföra beräkningar för att uppnå det mest ekonomiska och miljövänligaste tillvägagångssättet för specifika projekt.

4.1 Styrande handlingar

När det kommer till projekt inom infra-branschen utförs kvalitetssäkringen för projektet enligt givna anvisningar från InfraRYL, kvalitetskraven kan dock ha variationer på grund av projektens temporära karaktärer.

För vägkonstruktioner finns det funktionella och tekniska krav angivna i InfraRYL, medan man inom husbyggnadssektorn följer MaaRYL och för spårbyggnadssektorn följer RATO.

4.2 InfraRyl

InfraRYL, eller Infrarakennuksen yleiset vaatimukset, är en sammanställning av standarder och riktlinjer publicerade av Rakennustieto Oy som fastställer allmänna funktions- och kvalitetskrav för olika byggdelar inom infrastrukturbyggande. Dessa standarder och riktlinjer beskriver allmänt accepterade och sunda byggmetoder samt processer.

Funktionskraven i InfraRYL definieras utifrån hur strukturen och dess komponenter beter sig genom hela dess livscykel, exempelvis i vägkonstruktioners funktion och vägytans jämnhet. Konstruktionen bör uppfylla specifika tekniska krav under byggtiden, inklusive krav på använda material, mätning och täthet. Dessa tekniska krav fastställer tillåtna avvikelser för konstruktionen samt behovet, mängden och intervallet för kvalitetsmätningar.

InfraRYL säkerställer att infrastrukturprojekten uppfyller enhetliga kvalitetsstandarder och uppdateras två gånger per kalenderår för att säkerställa att standarder och riktlinjer är uppdaterade mot de senaste tekniska framstegen och bästa praxis inom jordbyggnadsbranschen. (InfraRYL, 2025).

4.3 YIV 2015

Byggnadsinformationsstiftelsens särskilda kommitté, BuildingSMART, gav ut delar av anvisningen Yleiset inframallivaatimukset 2015 (YIV 2015) våren 2015 och kompletterade den i början av 2016. Efter det har tillägget YIV 2018 kommit och en ny version YIV 2019 som har fått uppdateringar 4.10.2021

Behovet av dessa anvisningar har uppstått från de stora infrastrukturs beställarnas målsättning av att övergå till en standardiserad informationsmodellering. Detta för att både kunder och leverantörer skall ha ett gemensamt synsätt på hur man utför modellering av faserna i ett projekt och vad som skall modelleras. Anvisningarna är ämnade att användas som allmänna tekniska referensdokument vid upphandling och som riktlinjer vid infrastrukturs modellering. Varje projekt är dock unikt och har specifika särdrag som skiljer sig från varandra, detta bör tas i beaktan när man utför själva modelleringsarbetet. Man hittar dokumenten i PDF-format för detta på BuildingSMARTs hemsida, vilka skall vara de senaste givna anvisningarna. (Rakennustieto, u.d.).

4.4 Mätning före projektstart

När man påbörjar en planering för ett projekt så bör man utföra markundersökningar för att kontrollera själva jord/mark kvaliteten. Detta utförs genom marksondering, med en marksondering menas att man först kontrollera nivån på befintlig markyta och därefter påbörjar undersökningen under mark genom att borra sig ner i marken. Genom borrhundersökningen får man en uppfattning om vilken kvalitet av jordmaterial som finns på ett bestämt område och om det finns berg som behöver sprängas bort.

Denna information är väldigt viktig för att en planerare skall få till en bra planering för höjderna på de färdiga ytorna och för att en jordbyggnadsentreprenör skall kunna få till rätt beräkningar på olika mängder material som skall schaktas/sprängas/köpas. Det är även möjligt att flygskanna av området med en drönare eller flygplan, men då får man endast

fram hur terrängen är utformad. Genom detta utförande kan man säkerställa mängder som skall schaktas över arbetsområdet, utgående från planerade höjder på markytorna och skärningsritningar för projektet. (buildingSMART, 2024b).

4.5 Mätning under projektets gång

Under själva projektet utförs mätningar vanligtvis med grävmaskiner och mätstavar i realtid, men det är även möjligt att flygscanna om det handlar om stora arbetsområden där man vill mäta höjderna i realtid. Viktigt för maskinisterna är att mäta in slänter, schakt, konstruktionslager, rörlinjer, elkablar, brunnar och bottnar för till exempel socklar.

Detta för att personalen som hanterar mätdata skall kunna utföra beräkningar på åtgången av krossmängder och schaktmängder för att därefter leverera fakta till beställaren, man behöver även denna mätdata för att kunna utföra slutritningarna på ett korrekt sätt till beställaren. Mätpersonal kan även gå med en mätstav och utför dessa mätningar men i regel så utförs de med maskin i samband med att man monterar tekniken och fyller de olika konstruktionslagren. (buildingSMART, 2024b).

4.6 Mätning efter slutfört projekt

När ett projekt är slutfört kan man mäta färdiga ytor för att säkerställa att man har uppnått rätt höjder på olika ytor, arbetsområdet har rätt mått, markytor har rätt lutning till brunnar, konstruktionslagren har konstruerats på rätt sätt o.s.v. Detta utförs då med en mätstav eller flygskanning eller med grävmaskin under arbetets gång. Denna mätdata behövs för att man skall kunna utföra slutritningar till beställaren. Där man även kan hänvisa till att man har uppnått det som beställdes. (buildingSMART, 2024b).

5 Verktyg för inmätning

Det finns ett flertal olika metoder att använda sig av när mätningar skall utföras under ett infrastrukturprojekt. De som nämns i detta examensarbete är några av de vanligaste som används inom jordbyggnadsbranschen.

Dessa verktyg är väldigt effektiva, men som tidigare nämnts kan kvalitén påverkas ifall att signalstyrkan inte är tillräckligt bra mellan satelliterna och mätverktyget, med undantag för totalstationen som inte är i behov av satellitsignaler, eftersom den använder sig av färdigt bestämda referenspunkter.

5.1 Totalstation (Takymeter)

Totalstationer är ett mätinstrument som består av vinkelmätare och avståndsmätare, genom dessa kan man mäta avstånd, vinklar och längder på ett jordbyggnadsprojekt. Till skillnad från många andra verktyg så använder sig totalstationen inte sig av satellitsignaler under mätningprocessen. För att utföra mätningar med en totalstation krävs det färdigt utsatta referenspunkter och ett befintligt koordinatsystem att arbeta ifrån. Totalstationen uppnår en noggrannhet på millimeternivå. (Trimble, u.d.).

Totalstationerna är väldigt digitaliserade idag, all mätdata lagras i molntjänster varifrån personalen genast kan använda sig av den mätdata som behövs. Detta är väldigt effektiv när man utför planeringsarbeten eller skall utföra mätningar eller modelleringar på konstruktioner. Genom användning av totalstationen kan man även fastställa exakta höjder i fält vid till exempel kontroll av färdigt konstruerade bottnar för socklar och betongfundament. Bild 3 visar hur en totalstation ute på fält med mätpersonal.



Bild 3. Bild på Trimble SX 12 totalstation (Seiler SX 12 totalstation, u.d.)

5.2 GNSS mätstav

GNSS mätning är en av de vanligaste metoderna för satellitspositionering genom denna metod kan man uppnå noggrannheter på centimeternivå. GNSS mätstaven är ett verktyg som används ute på fält. Denna består av en fältdator (surfplatta), ett satellithuvud (GNSS mottagare) och en kolfiberstav se bild 4.

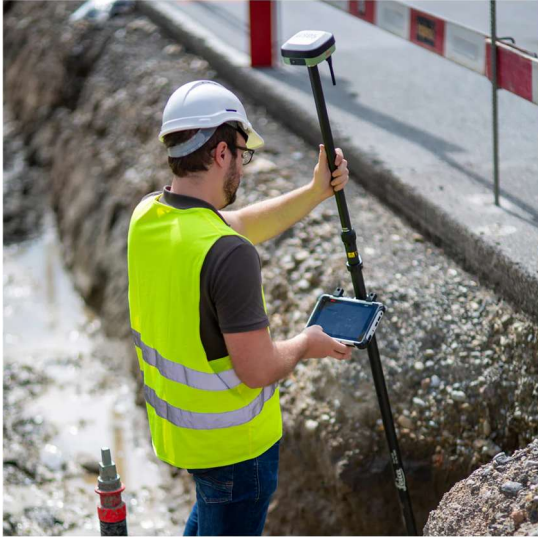


Bild 4. Bild på mätning i fält (One Point, Survey equipment, u.d.)

Själva mottagaren är samma typ av mottagare som arbetsfordonen med maskinstyrning använder, vilket direkt betyder att precisionen och noggrannheten är samma vad gäller positionering av en mätstav och ett arbetsfordon med 3d-maskinstyrning, förutsatt att arbetsfordonet är rätt kalibrerat gentemot skopornas slitage och att det inte förkommer några glapp i tappar och diverse rörliga delar. När man utför en GNSS mätning krävs det fri sikt mellan mottagare och satelliter, mottagaren bestämmer avståndet till satelliterna genom en kodmätning på GNSS-signalen. Genom denna avståndsmätning till minst 4 satelliter beräknar mottagaren själv ut sin position vilket kan omvandlas X, Y och Z koordinater i våra ögon. (Lantmäteriet, u.d.).

5.3 Funktioner för Surpad 4.0

Detta verktyg används på fältet för att utföra olika typer av mätarbeten, det finns möjlighet att utföra inmätningar, olika utsättningar och kontroll av ytor. Ute på fältet kan man dessutom utföra beräkningar av vinklar, längder mellan olika punkter och areor. (L5 Navigation, u.d.).

När man använder sig av inmätningfunktionen är det möjligt att mäta in olika ytor och material, vilket betyder att den data som samlas in under inmätningarna sedan kan bearbetas till slutritningar till kunder. När man utför en mätning tar man en så kallad mätpunkt som kodas enligt kodlistan man själv har skapat och laddat in i Surpad programmet. Genom höjdkontrollen mot ytor kan man kontrollera att schaktnings- och fyllnings arbete har blivit korrekt utförda. (L5 Navigation, u.d.) .

Detta program är väldigt effektiv när man utför utsättningar på fältet utgående från en CAD fil, man öppnar filen i programmet och där får man fram all information som finns ritade på ritningen. Därefter kan man markera exakt var på ett område olika objekt är placerade. (L5 Navigation, u.d.).

5.4 Novatron 3d maskinstyrning

Novatrons maskinstyrning kan monteras på ett flertal olika entreprenadmaskiner så som grävmaskiner, bulldozers, hjullastare, väghyvlar, asfaltsläggare och borrhingsmaskiner. Genom att ha 3d-maskinstyrningen monterad på dessa maskiner så ser man exakt vad som skall schaktas, fyllas och borrar. Man kan dessutom mäta in olika material, fyllnadslager, schaktdjup och mängder vilket slutkunder kräver till slutdokumentation för projekt. Detta är ett väldigt effektivt verktyg för anläggningsmaskiner. Detta examensarbete begränsas till grävmaskinernas utrustning enligt följande, beskrivning av systemet och användning. (Novatron, 2024b).

5.4.1 Komponenter

Bild 5 nedan visar vilka komponenter en grävmaskin skall ha installerade för att använda sig av novatrons maskinstyrning. Man har försökt placera komponenterna på så välskyddade ställen som möjligt för att undvika att de skall bli skadade. Installationen av dessa komponenter skall utföras av utbildad personal för att det skall fungera korrekt, för att detta system skall vara brukbart behövs ännu ett vanligt GSM SIM-kort som skall installeras i själva enheten för att man skall ha någon uppkoppling mot novatrons molntjänst där all mätdata lagras och maskinmodeller finns sparade. För att maskinstyrningssystemet skall fungera behöver det även information om maskinens relevanta mått för att utföra beräkningar av skopans samtliga hörns koordinater. För en

grävmaskin betyder det att man tar mätaggregatets mått, antennernas avvikelser av grävaggregatets mittpunkt och infästningspunkt och skriver in det i maskinstyrningssystemet. Detta utförande är en sorts kalibrering som mätingenjören oftast utför. (Novatron, 2024a).



Komponentit: Laservastaanotin (valinnainen), Kauhan kallistusanturi (valinnainen), Kauha-anturi, Pääpuomin anturi, Kaivuvarren anturi, Runkoanturi, Näyttö (8,4”), LED-lisänäyttö (valinnainen), Antennimastot, Paikannusantennit, Satelliittivastaanotin, Tietokone

Bild 5. Illustration av maskinstyrningens komponenter, (Novatron, 2024a)

5.4.2 Display

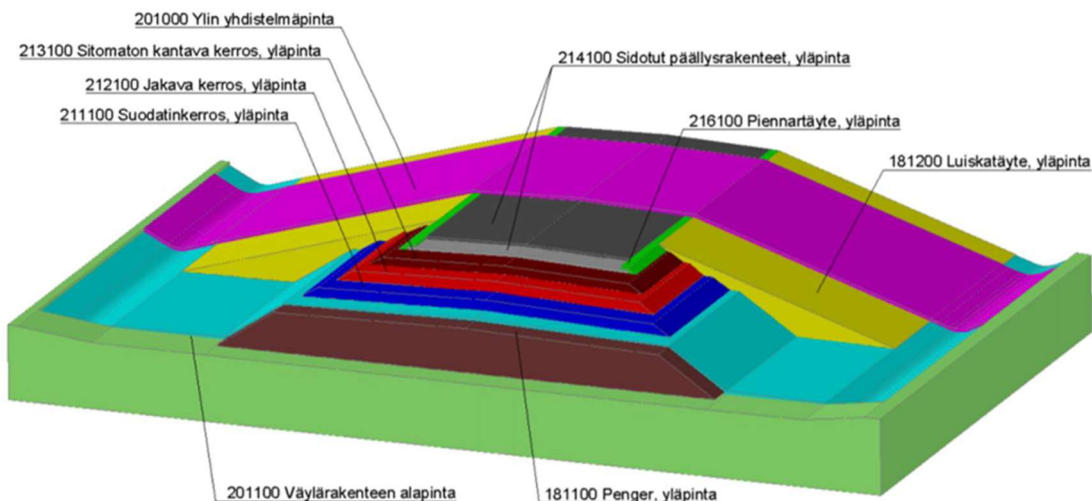
Bild 6 visar upplägget på själva skärmen som grävmaskinschauffören har att arbeta med. Skärmen är väldigt bra utarbetad och användarvänlig, eftersom chauffören ser all väsentlig information som hen behöver. Chaufförerna har möjlighet att anpassa skärmen enligt personliga inställningar, man kan till exempel dela upp skärmen i flera delar så att man ser skärningar av det som man schaktar eller fyller på samma gång som man kan se helheten, vilket effektiviserar arbetet på ett mycket gynnsamt sätt för att alla partners och entreprenören kan samtidigt säkerställa kvalitetskraven på arbetet. Det krävs förstås en viss kunskap av chaufförerna för att de skall förstå vad som syns i skärmen vilket kan kräva tid och utbildning (Novatron, 2024c).



Bild 6. Illustration av skärm, (Novatron, 2024c)

5.4.3 Användning

För att chaufförerna skall kunna utföra mätningar och följa modeller krävs det att antennerna på maskinen har kontakt med satelliterna. Detta är något som kan vara problematiskt vid solstormar, arbeten nära stora byggnader, arbete i skog och djupa dalar eller på områden där signalerna inte är tillräckliga. Positionering för maskinen och dess skopa fungerar på samma sätt som för en GNSS mätstav. När man utför arbete med hjälp av maskinstyrning används koder för alla inmätta punkter. Det finns en allmän kodlista (infra – rakentajakoodaus) men den består av mer än 20 A4 sidor. Därför använder sig väldigt många egna avkortade kodlistor som är mera överskådliga. Genom att använda sig av dessa kodlistor, dvs. mäta in rätt sak med rätt kod, kan datahanteringspersonalen utarbeta modeller, räkna ut mängder och rita kartor över hur saker och ting har blivit förverkligat, vilket krävs till kvalitetsdokumenten. Bild 7 förklarar väldigt bra detta när det gäller olika konstruktionslager och kodernas betydelse. (buildingSMART, 2021a).



Kuva 1.10. Väylärakenteen pintamallit nimettyinä InfraBIM-nimikkeistön mukaisesti. (Lähde: InfraBIM-nimikkeistö v.1.71, buildingSMART Finland)

Bild 7. Illustration över konstruktionslager, (buildingSMART, 2021a)

Här ser man koden och förklaringen för varje konstruktionslager. Alla lager har dessutom en egen färg för att man skall kunna avskilja lagren lättare. Chaufförerna kan då använda sig av detta genom att tända och släcka olika lager i skärmen och kan därmed utföra arbetet enligt planering. På samma vis finns det koder för all sorts material som används på ett infraprojekt vilket skall inmätas för slutdokumentationen.

Det gäller dock för chaufförerna att utföra inmätningar rätt när det gäller schaktningar och konstruktionslager se bild 8, detta så att personalen som skall behandla data har rätt information att arbeta med. Följande bild visar en illustration på hur man bör utföra inmätningar av schaktning och fyllning vid ett vägprojekt. De blå pilarna visar hur man mäter in en schaktbotten, de gröna pilarna visar hur man bör mäta in de olika vägkonstruktionslagren och de röda pilarna visar den slutgiltiga ytan som har förverkligats. Dessa mätningar bör utföras med 20 meters mellanrum (buildingSMART, 2021c).

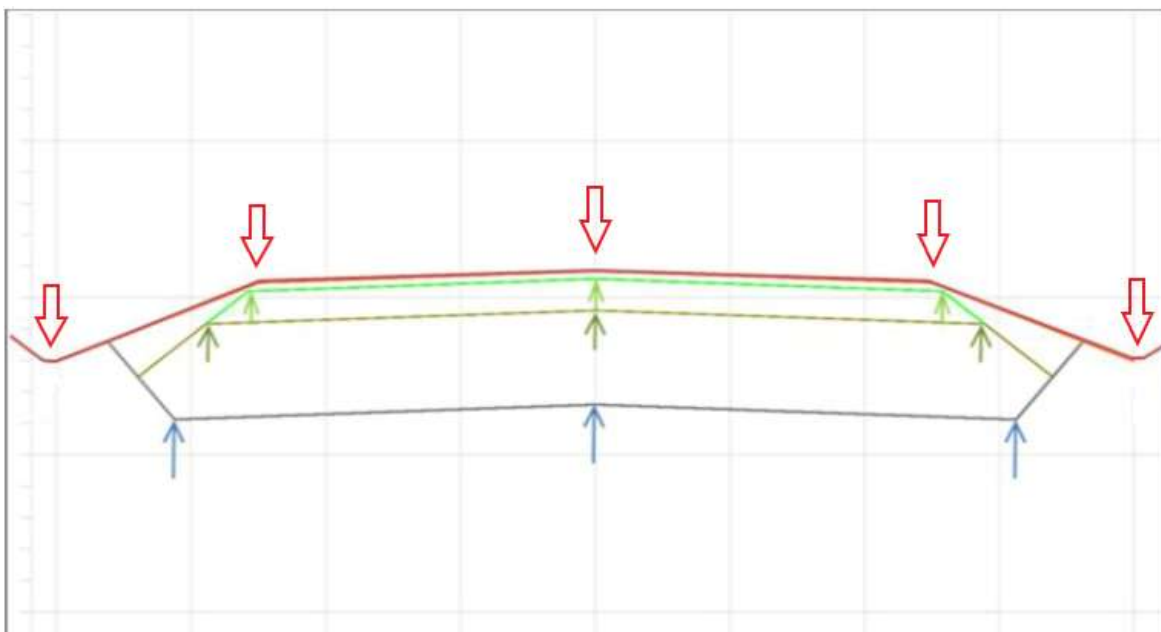


Bild 8. Illustration över en vägkonstruktion (buildingSMART, 2021c)

5.5 Drönare/Flygscanning

Detta är ett väldigt effektivt sätt att samla in data på stora projekt. Genom skanningen av områden skapas ett punktmoln, i detta punktmoln är varje punkt en skanningspunkt och har egna x, y, och z koordinater. Punktmolnet bildar en karta över det skannade området. Med denna karta kan man navigera emellan alla punkter, utföra längdmätningar, utföra mängd beräkningar, jämföra mot ritningar och skapa ritningar av. Bild 9 visar ett exempel på ett punktmoln på en krossgrushop, med tillhörande information om mängder i m³. Dessa siffror ges till beställaren i fråga som kan ha uppföljning på sitt arbete med krossgrus mängder i detta fall. Vid scanning över ett vägprojekt kan man först utföra mätningar över befintlig ytan för att få fast + höjder som planeringsingenjörerna kan börja arbeta med. Under projektets framfart kan man utföra mätningar för att ta fast schaktdjup, med den informationen kan man utföra beräkningar över schaktmassor. Skanning kan även utföras när det utförs fyllningsarbeten, med den informationen kan man kontrollera att de olika konstruktionslagrens skikt är fyllda till rätt nivå och mängders åtgång. (Planör, u.d.).

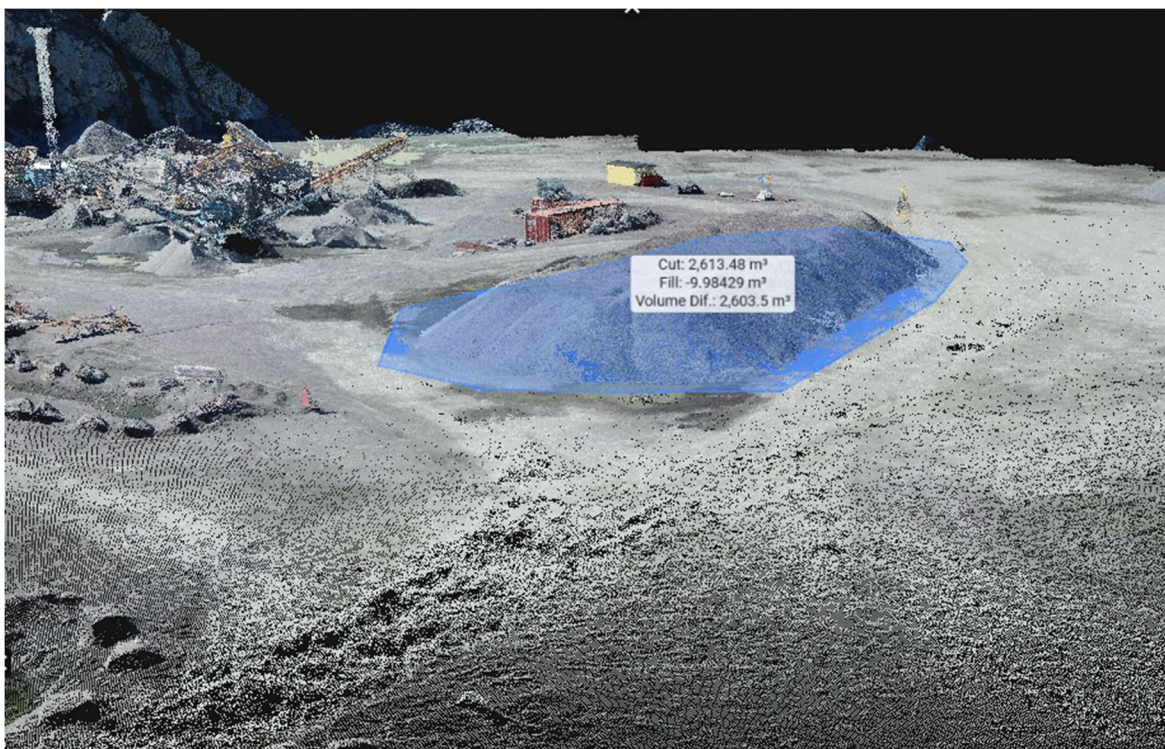


Bild 9. Punktmoln över krossgrus (Drönarscan & flygmätning, u.d.)

6 Program för hantering av mätdata

Det finns ett flertal olika program på marknaden idag som behandlar mätdata från fältet och ger möjlighet till att ta ut stora mängder information genom de inmätta punkterna från 3D systemen. Dessa program behöver klara av att hantera ett flertal olika filformat för att hantera ritningar, kartor och GNSS-data. Dessutom skall det klara av att formatera till olika filformat på grund av att de olika system på marknaden använder sig av olika format i 3d maskinstyrningen.

De som nämns i detta examensarbete används i första hand för att bearbeta data till och från GNSS-mottagare och maskinstyrningsenheter.

6.1 3D-win

3D-win ägs av Novatron och är ett väldigt kraftfullt verktyg när det kommer till att utföra 3d-modellering, geografisk information och behandla mätdata från arbetsfältet. Det är

utvecklat för att möta dagens behov för planerare, kommuner, entreprenörer och offentliga myndigheter inom olika områden.

Detta program hanterar väldigt många olika filformat och kan dessutom formatera filer till nästa alla format som behövs till dagens 3d-maskinstyrning. Programmet läser och kan konvertera ett flertal olika raster, vektor och väggeometrifformat. Därav är programmet väldigt effektivt vid planering av byggnadsplaner av infrastrukturprojekt.

Det finns även funktioner för att hantera mätdata för att utföra olika typer av massberäkningar, redigera eller skapa terrängmodeller, skapa kartor för borring och pålning. Av de så kallade As-built punkterna som blir inmätta på arbetsfältet kan man skapa ritningar över vad man har konstruerat, till exempel konstruktionslager, rörlinjer, brunnar och elkablar. (3d-win, u.d.).

Bild 10 visar ett vägprojekt, här ser man höjder på planering, hur vägen är planerad, var det finns berg, höjder på berget, planerade byggnader, grönområden, väglinjer och dikessläntrar

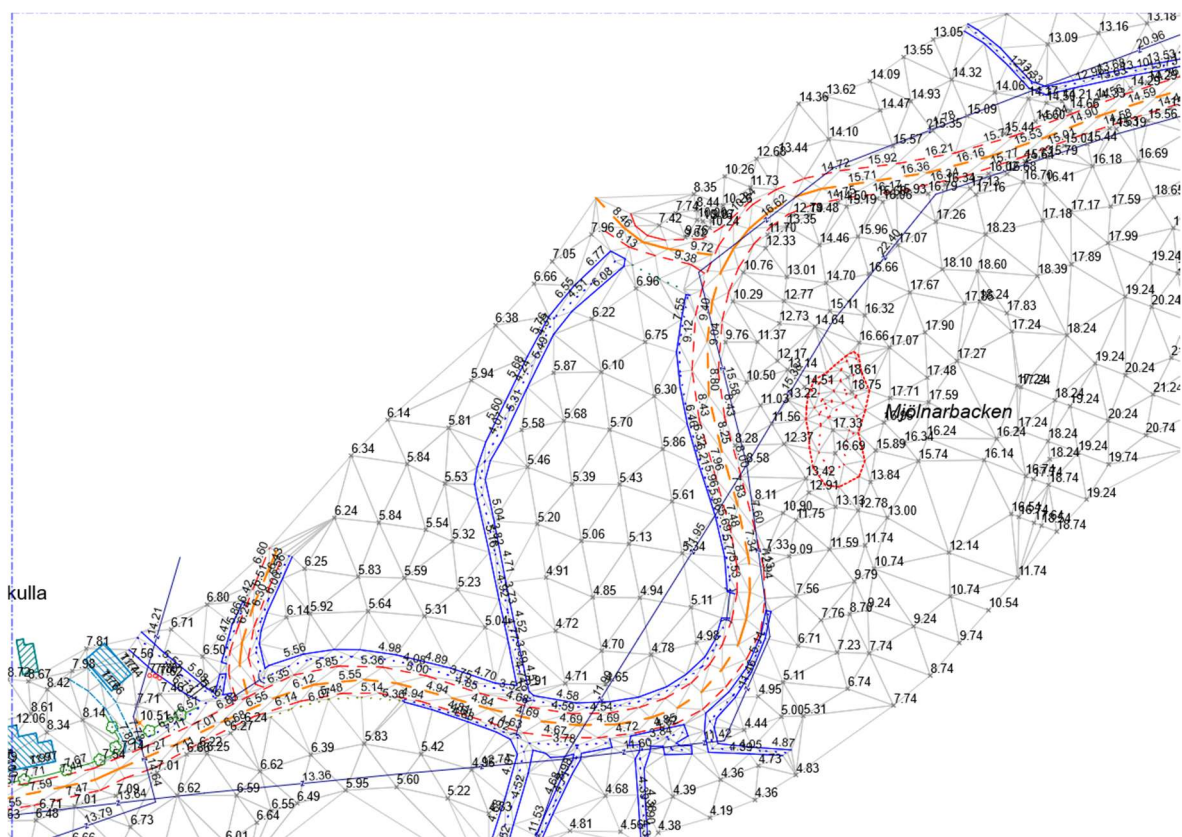


Bild 10. Överblick av ett triangulerat vägprojekt

Bild 11 visar hur man har utfört en mängdberäkning över sprängt berg, som man kan presentera till beställare för att påvisa fakta vid fakturering. Här ser man mängder över olika typer av sprängningsarbete över specifikt område, i detta fall har man utfört både kanal och ytsprängning av berg.

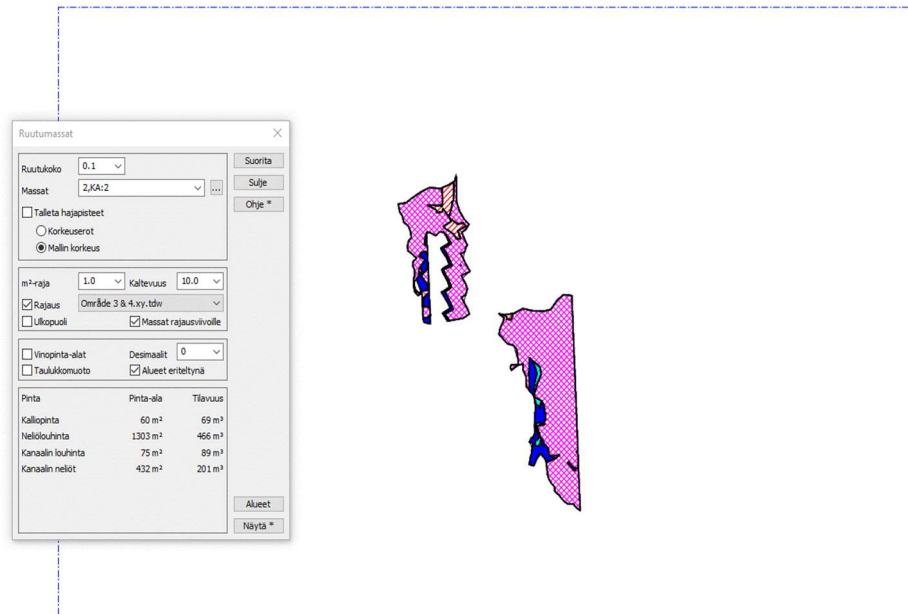


Bild 11. Bild över sammanställning a sprängda bergsytor

Man kan även ta ut en mängdberäkning i .txt format till beställaren om så önskas. Ett exempel på detta kan ses på bild 12.

Yhteensä				
Pinta	Pinta-ala	Tilavuus	Koodi	
Kalliopinta	60	69	2	
Neliölouhinta	1303	466	2.1	
Kanaalin louhinta	75	89	KA:2	
Kanaalin neliöt	432	201	KA:2.1	
Alue: Område 3				
Pinta	Pinta-ala	Tilavuus	Koodi	
Kalliopinta	57	66	2	
Neliölouhinta	433	190	2.1	
Kanaalin louhinta	0	0	KA:2	
Kanaalin neliöt	214	78	KA:2.1	
Alue: Område 4				
Pinta	Pinta-ala	Tilavuus	Koodi	
Kalliopinta	3	4	2	
Neliölouhinta	870	276	2.1	
Kanaalin louhinta	74	89	KA:2	
Kanaalin neliöt	218	124	KA:2.1	

Bild

12. Mängder i .txt format

Genom bilderna 13 och 14 kan man hänvisa för beställaren vad utgångshöjderna på ett projekt var från början och hur djupt man har schaktat. Genom information av mätdata här kan vi utföra massaberäkningar för projektet, vilket är en viktig aspekt i alla jordbyggnadsprojekt. Bild 13 visar mätpunkter på befintlig marknivå vid början av ett schaktningsprojekt, man kan även se medelhöjden på den befintliga marknivån i textrutan. Bild 14 visar mätpunkter när schaktningen är utförd, här ser man medeldjupet för schaktningen i textrutan.

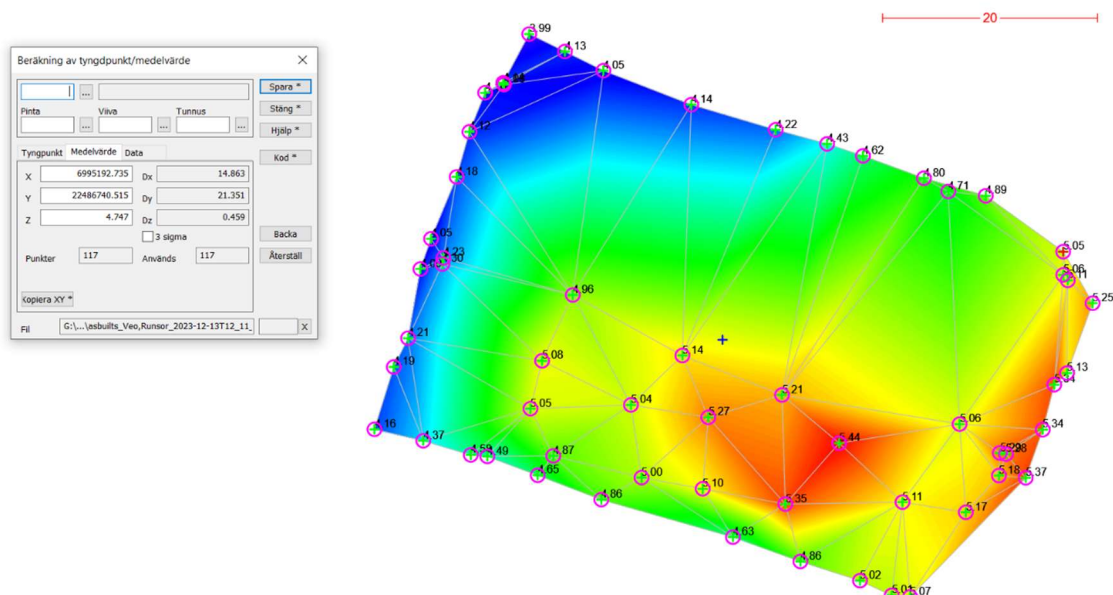


Bild 13. Visar en triangulerad analys av den befintliga marknivån vid början av ett projekt.

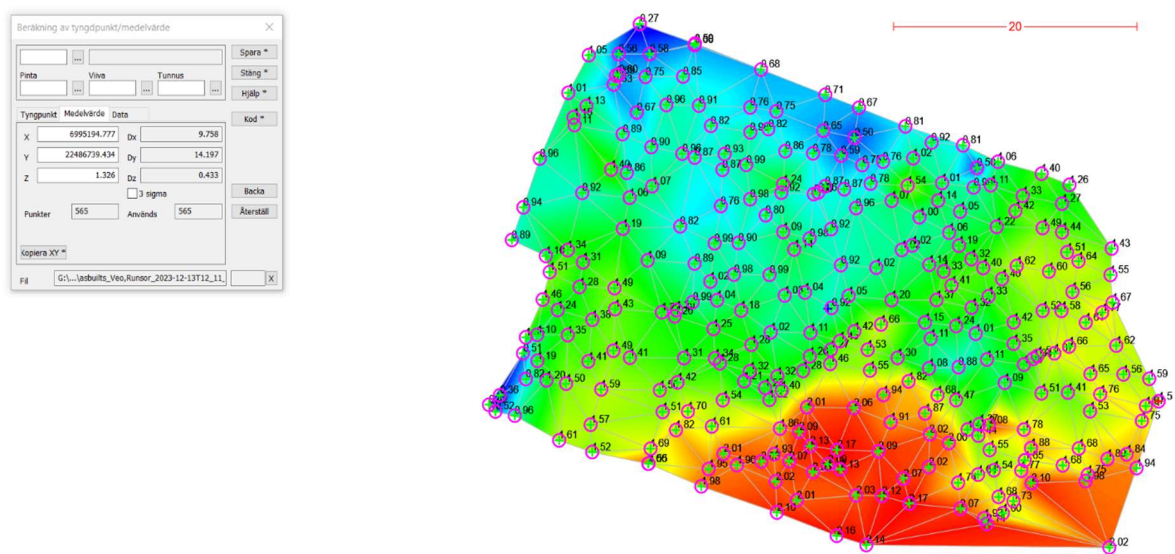


Bild 14. Visar en triangulerad yta på schaktbotten för samma projekt.

6.2 Molntjänst Xsite Manage

Molntjänsten Xsite MANAGE är en del av Novatrons 3d-maskinstyrningstjänst. Genom denna molntjänst lagras all inmätt data, modeller och ritningar som entreprenadmaskinen och personalen på kontoret behöver för specifika projekt. Genom molntjänsten flyttas även data mellan kontor och fält, vilket betyder att personalen på kontoret kan inom några sekunder se inmätta punkter på arbetsplatsen som entreprenadmaskinen har mätt in.

Denna smidighet resulterar i att man kan få projektet att gå ännu effektivare framåt och det behöver inte alltid vara en enskild mätansvarig som är på platsen för att ta enskilda mätpunkter.

Tjänsten erbjuder även möjlighet att granska modeller och ritningar på arbetsområdet i direkt jämförelse mot As-built punkter. Novatron erbjuder dessutom fjärrsupport genom molntjänsten vilket betyder att supporten kan ansluta trådlöst till enheterna i maskinen för att granska problem.

Personalen som hanterar mätdata kan öppna molntjänsten för att samla in As-built punkter, där kan man även välja att se punkter under specifika datum, enligt specifika mätkoder, från enskilda maskiner ifall flera finns på områden. Från dessa As-built punkter får man även X, Y och Z koordinater se bild 15. (Novatron, 2024d).

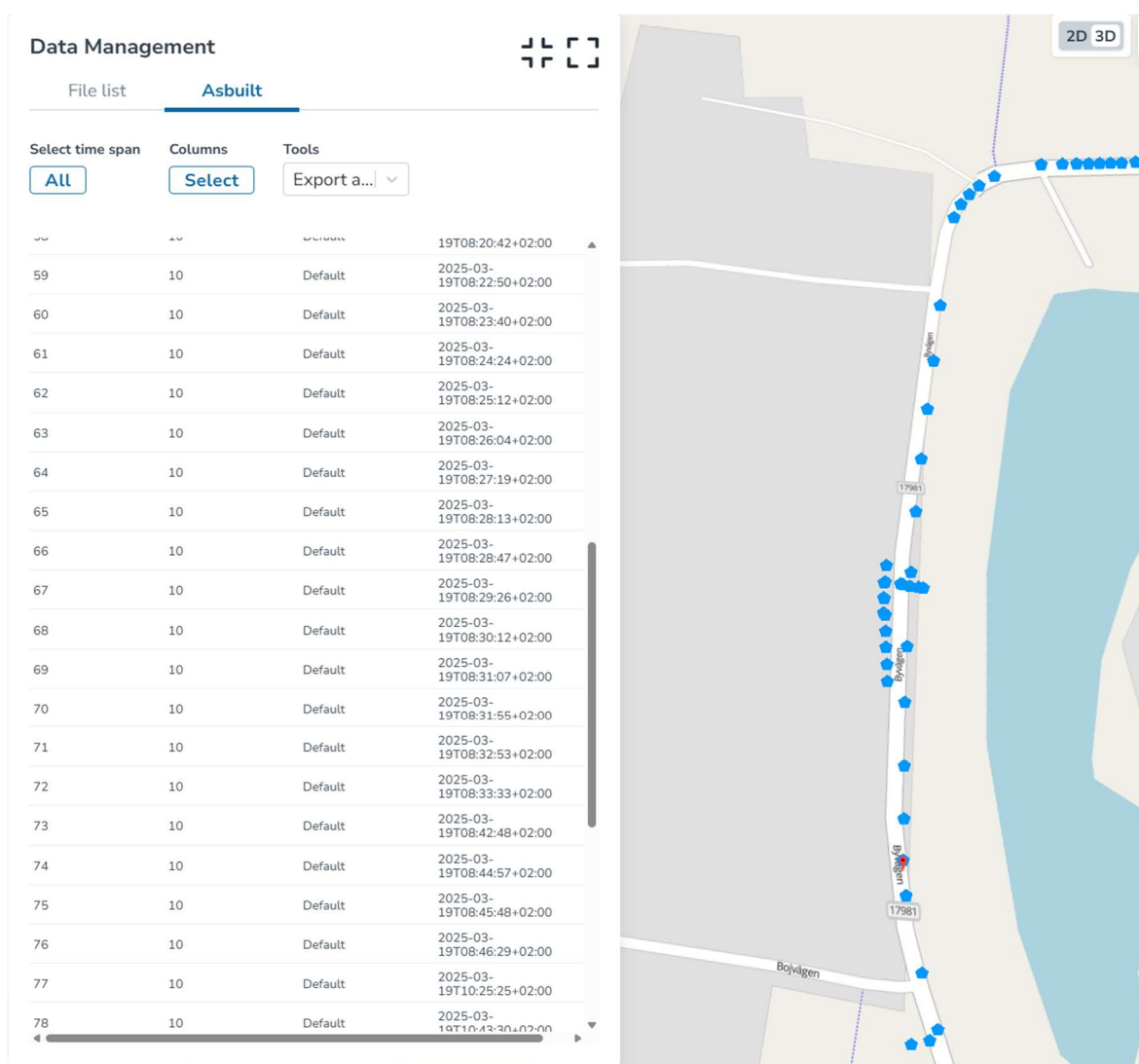


Bild 15. Visar As-built punkter på arbetsområdet

6.3 Mätdatans kvalitetssäkring

Mätdatans kvalitetssäkring är en central del av själva mätprocessen inom jordbyggnadsprojekt, detta på grund av att all information man får genom inmätningar används vidare vid nya projekt. Detta bygger då på att all as-built data skall vara korrekt och konsistent för att kunna användas för vidare projektering och maskinstyrning, här krävs dock också att man har en korrekt slutdokumentation att arbeta utifrån. Praktiskt innebär kvalitetssäkring att varje moment i mätkedjan bör kontrolleras, med början från val av geoidmodell och koordinatsystem till mätning, databearbetning och den slutgiltiga slutdokumentationen med as-built data. Genom en teknisk förståelse och ett systematiskt arbetssätt var man kontrollerar mätdata kontinuerligt mot kända referenspunkter kan man säkerställa att mätdata för ett projekt uppnår en tillräckligt hög kvalitet. Kontrollen mot referenspunkter är en grundläggande del av den geodetiska kvalitetssäkringen och bör därav utföras minst en gång per vecka.

En stor faktor inom kvalitetssäkringen är kontrollen över de olika instrument som används, instrumenten bör vara rätt inställda innan inmätningar påbörjas. Detta gäller även för TRK-GNSS utrustning och totalstationer, är inställningarna felaktiga på instrumenten leder det till systematiska fel genom hela projektet. Dessa instrument som bör kontrolleras är antennhöjder, GK-zoner, koordinatsystem och geoidmodeller. Utför man de regelbundna kontrollerna mot referenspunkter kan man säkerställa utrustningens korrekta funktion och att inga avvikelser uppstått på grund av mekaniska störningar, felaktiga inställningar och temperaturförändringar. Kontrollmätningarna är speciellt viktiga vid projekt som har krävande höjdnoggrannheter, på grund av att även små avvikelser kan få väldigt stora konsekvenser för konstruktionernas funktioner. Genom kontinuerliga kontroller och statistisk analys kan man identifiera slumpmässiga och systematiska fel, vilket utgör kontrollmätningar en till central faktor för kvalitetssäkringen. (Ågren & Hauska, 2012c).

När mätdata samlats in för ett projekt bör den bearbetas och kontrolleras innan den används vidare i pågående projekt. I praktiken betyder det att man har mätpunkter för att identifiera avvikelser som kan ha uppstått genom dålig satellitgeometri, bristande siktlinjer, multipath eller fel prismainställningar. Jämförs data mellan mätmetoder som RTK-GNSS och totalstation kan det upptäckas fel som annars kan gå obemärkt förbi. InfraRYL har klara direktiv över att kontrollmätningar bör utföras för varje skede var toleranser bör verifieras,

detta utgör att kvalitetssäkringen blir en kontinuerlig process i stället för en avslutande kontroll. (Rakennustieto, u.å.)

Kvalitetssäkring handlar även om säkerställning av att mätdata är korrekt integrerat i projektets modeller. Innebörden av detta är då att kontrollera inmätningarnas kodningsstruktur, höjdsystem och koordinatsystem följer projektets inframodell. Direktiven från YIV hänvisar till att datakvalitén och spårbarheten av mätdata är avgörande för att det skall vara möjligt att använda det som juridiskt och tekniskt underlag. Är data felaktigt kodad eller fel transformerad kan det leda till betydande avvikelser i produktionen (Rakennustieto & buildingSMART Finland, 2015). Därav är det av stor betydelse att granska all mätdata innan man lägger in det i bearbetningsprogram som 3D-win eller liknande för att korrigera eventuella avvikelser innan modellen används ute på fält.

Slutligen gäller även kvalitetssäkring dokumentation av själva mätprocessen. Det bör dokumenteras vilka instrument man använt, inställningar som varit aktiva, referenspunkter som använts och kontrollerats och om det har blivit utfört korrigeringar för att skapa spårbara dokument som kan användas vid framtida granskningar eller tvister. Genom denna dokumentation säkerställs även att projektets as-built material är tillförlitligt och kan användas för framtida underhåll och projekt, se tabell 1. Korrekt dokumenterad geodata är en förutsättning för en långsiktig förvaltning inom jordbyggnads- och infrastrukturs projekt. En väl genomförd kvalitetssäkringsprocess minimerar riskerna för fel under ett projekt, ökar projektets effektivitet och framfart och säkerställer att man uppfyller kraven som beställaren har ställt för det specifika projektet. (Maanmittauslaitos, 2020a).

Kontroll över vad	Frekvens	Syfte
Kontroll av kodningsstruktur	Vid import/export av modeller	Säkerställa korrekt dataintegration
Kontroll av geoidmodell	Vid projektstart	Säkerställa korrekt höjdsystem

Kontroll av GK-zon	Vid projektstart	Undvika felaktiga modeller och utsättningar
Kontroll av antennhöjd	Dagligen	Undvika systematiska höjdavvikelser
Kontroll vid fixpunkt	1 gång per vecka	Säkerställa stabilitet och noggrannhet

Tabell 1, visar egen granskningstabell

7 Fallstudie – Tillämpning av 3D-mätningar i anläggningsprojekt

Kapitel redovisar en fallstudie från ett verkligt anläggningsprojekt där de metoder och tekniska principer som behandlats i tidigare kapitel tillämpades i praktiken. Syftet med fallstudien är att belysa hur 3D-mätningar, maskinstyrning och kvalitetssäkring användes för att uppfylla de höga krav som ställdes på mät- och höjdnoggrannhet i ett verkligt projekt. Kapitlet behandlar projektets förutsättningar, identifierade tekniska utmaningar samt hur mättekniken användes för att säkerställa ett korrekt utförande. Fallstudien fungerar som en koppling mellan teori och praktik och visar hur ingenjörsmässiga beslut påverkar genomförande och slutresultat.

7.1 Projektbeskrivning

Projektet omfattade anläggandet av en konstgräsplan avsedd för fotbollsverksamhet. Projektområdet inkluderade själva ytan för fotbollsplanen samt kringliggande ytor för dränering, belysning och tillhörande markarbeten. En situationsplan över projektområdet redovisas i bild 16 och visar planens placering, dräneringssystem, skyddsror för belysning samt anslutande konstruktioner. Entreprenaden bestod av schaktning av befintliga massor, uppbyggnad av nya markkonstruktioner enligt projekterade konstruktionslager, installation av dräneringsror samt montering av skyddsror för el- och belysningskablar runt hela planområdet. Efter avslutat arbete skulle marken runt arbetsområdet återställas enligt planering.

Entreprenörens ansvarsområde avslutades vid färdigställande av det sista konstruktionslagret, beläget 80 mm under färdig konstgräsyta. Detta innebar att mycket höga krav ställdes på höjdsättning, planhet och lutningar, då efterföljande arbeten var direkt beroende av korrekt utförda nivåer. Avvikelser i detta skede kunde leda till problem med dränering, funktion och livslängd för den färdiga planen. Projektet genomfördes med hjälp av digitala 3D-modeller som användes för maskinstyrning och den mättekniska kontrollen. Flera mätmetoder tillämpades parallellt under projektet, bland annat RTK-GNSS, totalstation, laserinstrument samt maskinstyrningsystem. Jag deltog i projektet i rollen som projektledare och arbetsledare, med ansvar för arbetsplanering och utförande av vissa inmätningar och kontrollmätningar under projektets gång.



Bild 16. Situationsplan över verksamhetsområdet.

7.2 Identifiering av tekniska problem

Under projektets gång identifierades flera tekniska utmaningar kopplade till användningen av 3D-modeller och mätningsteknik. Ett centralt problem var att modellerna för fyllnings- och konstruktionslager ändrades under den tiden då schaktningsarbetena pågick. Detta innebar att redan använda modeller behövde uppdateras för att säkerställa att produktionen utfördes enligt de senast gällande handlingarna. När modellerna uppdaterades ökade risken för att schaktningsarbetet utfördes mot gamla modeller, därav var det väldigt viktigt att utföra kontrollmätningar för att säkerställa att arbetet blev rätt utfört och att entreprenörerna inte arbetade mot gammal information. Projektet genomfördes under sensommaren, vilket medförde varierande väderförhållanden. Förändringar i atmosfäriska förhållanden påverkade periodvis kvaliteten på GNSS-signalerna, vilket resulterade i osäkerhet vid vissa RTK-baserade mätningar. Detta ställde ökade krav på personalens bedömning av mätresultat samt på val av kompletterande mätmetoder vid kritiska moment.

Ytterligare en utmaning var de strikta krav som ställdes av beställaren avseende dokumentation och verifiering av höjder och lutningar i utförda konstruktionslager. Samtliga lager behövde kunna kontrolleras och redovisas på ett spårbart sätt. Detta ökade behov av systematiska inmätningar och kvalitetssäkring under hela projektets gång. De identifierade problemen visade tydligt att projektet krävde en genomtänkt mätstrategi där flera metoder kombinerades samt där kontinuerlig kontroll och verifiering av mätdata utgjorde en central del av produktionen.

7.3 Val av metoder och tekniska lösningar

De tekniska utmaningar som identifierades låg till grund för en mät- och kontrollstrategi utformad med fokus på spårbarhet och oberoende verifiering. Syftet var att säkerställa att alla höjder och lutningar kunde uppfylla beställarens krav, även vid förändringar i 3D-modellerna och under varierande förhållanden för GNSS-mätning. För att etablera ett tillförlitligt referenssystem anlätades en extern tredje part som med hjälp av totalstation etablerade tre permanenta fixpunkter vid arbetsområdet. Se bild 17 fixpunkt i fält

Fixpunkterna placerades i det nationella höjdsystemet N2000 och fungerade som gemensam referens för samtliga höjdrelaterade mätningar under projektets gång.



Bild 17. Fixpunkt i fält

Användningen av ett känt höjdsystem möjliggjorde spårbarhet och minskade risken för systematiska höjd fel mellan olika mätmetoder och arbetsmoment. Fixpunkterna användes både för kontroll av handhållna mätinstrument och för verifiering av grävmaskinernas maskinstyrningssystem. Regelbundna kontroller genomfördes, där maskinernas GNSS-utrustning jämfördes mot kända höjder för att säkerställa korrekt kalibrering. Dessa kontroller utfördes minst en gång per vecka samt vid behov efter uppdateringar av modeller eller vid misstanke om avvikande mätresultat mot de utsatta fixpunkterna på bild 18.

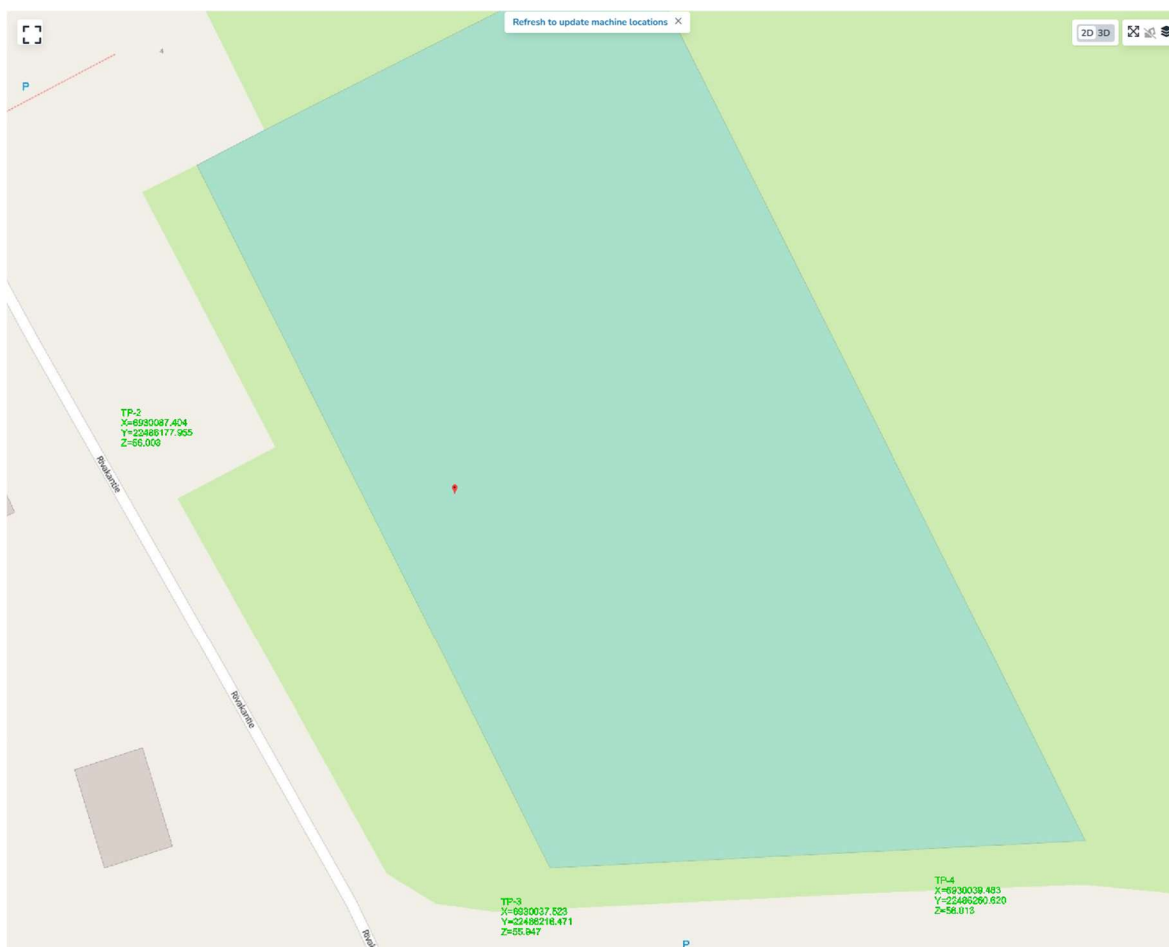


Bild 18. Utsatta fixpunkter för kontrollmätningar

Valet att kombinera flera mätmetoder, såsom RTK-GNSS, totalstation och laserinstrument, grundades på en medveten strategi för riskminimering. RTK-GNSS användes främst för effektivt arbete, översiktliga kontroller, inmätningar medan totalstation och laserinstrument tillämpades vid kritiska moment där hög noggrannhet krävdes eller där GNSS-mätningar bedömdes osäkra. Denna metodkombination möjliggjorde kontinuerlig verifiering av mätdata och minskade beroendet av enskilda system.

Beställaren ställde även krav på dokumentation och verifiering av höjder och lutningar i utförda konstruktionslager. För att uppfylla dessa krav planerades en systematisk inmätning av det sista konstruktionslagret innan överlämning till efterföljande entreprenadskede. Inmätningen utfördes i form av ett regelbundet rutnät med en punktfördelning om 10 × 10 meter över hela planens yta vilket bild 19 visar. Metoden möjliggjorde en jämn och representativ kontroll av planhet och lutningar samt skapade ett tydligt underlag för kvalitetsredovisning.

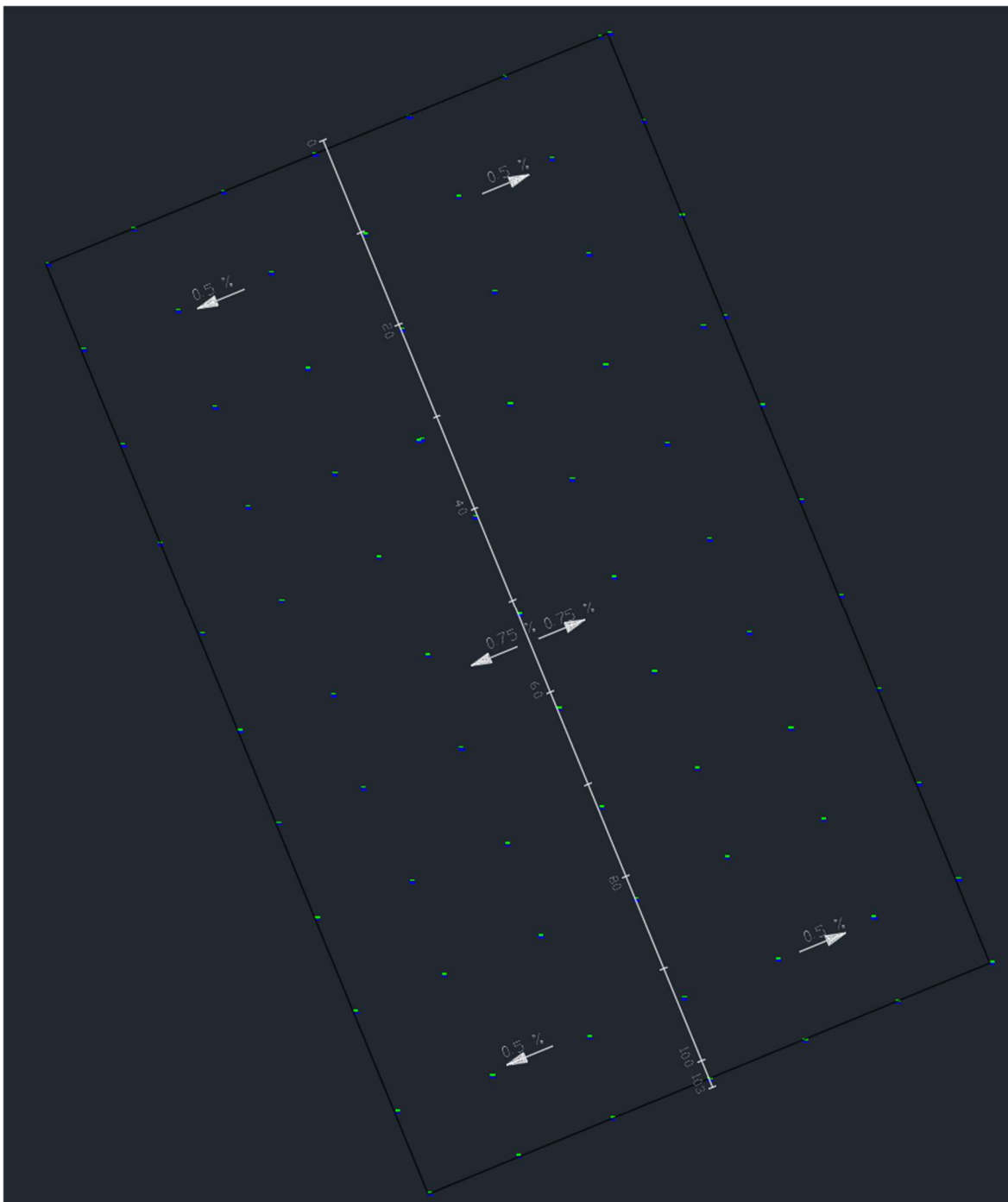


Bild 19. Visar inmätt rutnät av sista konstruktionslager, blå – gröna punkter i bilden visar + höjden för de inmätta punkterna.

kan se på bild 21 utförs en noggrann kontrollmätning av en specifik botten med laserinstrument, där man har med laserinstrumenten först tagit höjden från en fixpunkt för att sen flytta sig till den specifika ytan och utfört kontrollmätning för att säkerställa att man har fyllt konstruktions lagret till rätt nivå.



Bild 21. Visar att man utför noggrann kontrollmätning med laserinstrument på specifika områden.

Särskild vikt lades vid höjdsättning av konstruktionslager, då dessa direkt påverkade planens funktion och dränering. Efter färdigställande av det sista konstruktionslagret genomfördes en systematisk inmätning enligt ett regelbundet rutnät med punktavstånd 10 × 10 meter över hela fotbollsplanen. Inmätningen utfördes med RTK-GNSS och verifierades genom stickprovskontroller mot fixpunkterna. Resultatet sammanställdes i digitalt format och användes som underlag för kvalitetskontroll samt kvalitetshandlingar till beställaren.

7.5 Resultat

De tillämpade mät- och kontrollmetoderna resulterade i att projektets krav på höjdsättning, jämnhet och lutningar kunde uppfyllas inom de toleranser som angavs av beställaren. Genom användning av ett enhetligt referenssystem och regelbundna kontroller kunde systematiska mätfel undvikas trots förändringar i 3D-modeller och varierande förhållanden för GNSS-mätning.

Rutnätsinmätningen av det sista konstruktionslagret visade att höjder och lutningar låg inom godkända gränser över hela planområdet. Inmätningen gav ett jämnt och representativt underlag för bedömning av utförandets kvalitet samt fungerade som verifiering inför överlämning till nästa företag som utförde de slutgiltiga ytorna. Resultatet godkändes av beställaren utan krav på omfattande korrigerande åtgärder.

Den kombinerade användningen av RTK-GNSS, totalstation och laserinstrument bidrog till ökad tillförlitlighet i mätningarna och möjliggjorde effektiv produktion utan att kompromissa med kvaliteten. Metoden med regelbundna kontroller och dokumenterad inmätning skapade ett tydligt och spårbart underlag som minskade risken för framtida tvister eller oklarheter kring utförda arbeten.

7.6 Analys

Syftet med denna fallstudie var att undersöka hur 3D-mätningar och tillhörande kvalitetssäkringsmetoder kan tillämpas i ett verkligt projekt med höga krav på höjdnoggrannhet och dokumentation. Resultaten visar att en kombination av flera

mätmetoder samt användning av ett gemensamt referenssystem är avgörande för att uppnå ett tillförlitligt och verifierbart utförande.

Användningen av fixpunkter i höjdsystem N2000 utsatta av en tredje part, bidrog till att minska risken för systematiska mätfel och skapade förutsättningar för kontinuerlig kontroll av både mätutrustning och maskinstyrningssystem. Detta visade sig särskilt viktigt i ett projekt där 3D-modeller ändrades under pågående produktion. Utan ett stabilt referenssystem hade risken varit stor att arbete utfördes utifrån felaktiga schakt och fyllningshöjder.

Projektet genomfördes under perioder med varierande väderförhållanden, vilket påverkade kvaliteten på GNSS-mätningarna. Analysen visar att beroende av enbart RTK-GNSS hade inneburit en förhöjd risk för mätosäkerhet vid kritiska moment. Genom att kombinera RTK-GNSS, totalstation och laserinstrument kunde denna risk minimeras. Metodkombinationen ökade tillförlitligheten i mätresultaten och möjliggjorde verifiering av höjder även när GNSS-förhållandena var mindre gynnsamma.

Rutnätsinmätningen av det sista konstruktionslagret, utförd enligt beställarens krav fungerade som en effektiv metod för att verifiera jämnhet och lutningar över hela fotbollsplanen. Denna typ av systematisk kontroll gav ett tydligt och spårbart underlag för kvalitetsbedömning och kvalitetsdokumentation. Analysen visar att denna metod inte enbart uppfyllde beställarens krav, utan även bidrog till att tidigt identifiera eventuella avvikelser och därmed minska risken för kostsamma korrigeringar i senare skeden.

Sammantaget visar fallstudien att en ingenjörsmässig tillämpning av 3D-mätningar med fokus på kvalitetssäkring och verifierbarhet, är en förutsättning för att uppnå hög kvalitet i moderna infrastrukturprojekt. Resultaten bekräftar även vikten av rätt kompetens hos både arbetsledning och produktionspersonal för att den tekniska utrustningen ska kunna användas på ett effektivt och säkert sätt.

8 Diskussion

I dagens infrastruktursprojekt ställs allt högre krav på dokumentation, kvalitetssäkring och spårbarhet av utförda arbeten. Erfarenheter från detta examensarbete och den

genomförda fallstudien visar tydligt att korrekt utförda inmätningar utgör en avgörande grund för både produktion och slutdokumentation till beställaren. När mätdata är korrekt insamlad och kompletteras med tydlig dokumentation, exempelvis fotografier från utfört arbete, skapas goda förutsättningar för att redovisa konstruktionernas kvalitet och utförande på ett tillförlitligt sätt.

Bristfällig mätdata eller otillräcklig dokumentation kan däremot leda till allvarliga konsekvenser. I värsta fall kan entreprenören tvingas återskapa eller gräva upp färdiga konstruktioner för att kunna granska utförandet som blivit gjort, vilket medför betydande kostnader och risk för försämrat förtroende hos beställaren. Detta understryker vikten av att mätningar utförs korrekt redan från början och att etablerade rutiner följs konsekvent.

Arbetet har även belyst att det finns ett behov av tydliga instruktioner och riktlinjer för hur inmätningar ska utföras i praktiken. Genom diskussioner med både fältpersonal och personal som arbetar med hantering av mätdata har det framkommit att enhetliga arbetssätt underlättar både produktionen och efterföljande dokumentation. Även erfarna maskinförare har behov av återkommande påminnelser och uppdateringar, särskilt i takt med att tekniken utvecklas.

Trots att leverantörer av maskinstyrningssystem ofta tillhandahåller egna instruktioner och utbildningar, finns det ett behov av verksamhetsanpassade interna instruktioner. Dessa bidrar till att säkerställa att både vår egen personal och våra underentreprenörer arbetar med våra principer och kvalitetskrav.

En återkommande utmaning inom branschen är bristen på utbildning inom 3D-maskinstyrning och mätteknik. Befintliga utbildningspaket som erbjuds från leverantören av maskinstyrningen är ofta kostsam och tidskrävande, vilket gör att entreprenörer inte är villiga att investera i den kompetens som krävs. Samtidigt visar både detta arbete och praktiska erfarenheter att ökad kompetens inom området kan leda till effektivare arbetsprocesser, förbättrad kvalitet och i förlängningen stärkt konkurrenskraft.

Även tekniska begränsningar, såsom osäkerhet i satellitsignaler och kostnader för basstationer och tillhörande utrustning utgör en tröskel för vissa entreprenörer. Dessa lösningar kräver dessutom ett tekniskt kunnande för att användas på ett korrekt sätt.

Trots detta kan investeringar i både utrustning och utbildning ses som långsiktigt lönsam då de bidrar till minskad risk för fel, högre kvalitet i utförandet och ökat förtroende från beställare. Resultatet visar även att korrekt hantering av mätdata och systematisk kvalitetssäkring är minst lika viktig som valet av mätutrustning, särskilt i projekt med höga krav på höjdsättning och dokumentation.

Detta examensarbete visar att korrekt användning av 3D-mätning och maskinstyrning är en viktig faktor för framtida anläggningsprojekt. För att fullt ut dra nytta av den tekniska utrustning som används krävs dock att entreprenörer oavsett erfarenhetsnivå, är villiga att investera tid och resurser i kompetensutveckling. Detta är en förutsättning för att kunna möta branschens ökande krav och förbli konkurrenskraftig i framtiden.

Källförteckning

Buildingsmart. (2021a.) *Yleiset inframallivaatimukset YIV, InfraBIM-nimikkeistö*. Hämtat 3.4.2025 från <https://drive.buildingsmart.fi/s/AAELrj83NbrHae2>

Buildingsmart. (2021b.) *Yleiset inframallivaatimukset YIV, Mittausperusta*. Hämtat 3.4.2025 från <https://drive.buildingsmart.fi/s/AAELrj83NbrHae2>

Buildingsmart. (2021c.) *Yleiset inframallivaatimukset YIV, Toteumamittaus työkooneilla*. Hämtat 3.4.2025 från <https://drive.buildingsmart.fi/s/AAELrj83NbrHae2>

Drönarscan & flygmätning. (u.å.) *Webverktyg*. Hämtat från <https://cloud.pix4d.com/site/156217/dataset/1126392/model?shareToken=79aad488-2f3e-4977-a972-bc63a9dfba85>

L5 Navigation. (u.å.) *SurPad*. Hämtat 19.3.2025 från https://www.l5navigation.se/produkter/matteknik/faltprogram/surpad/?srsId=AfmBOoq9zHYtMZ1FU43hsQwNSUKG4FxSoc7HDKEgp6gQ2LuBijv_Xip7

Lantmäteriet. (2020) *Felkällor vid GNSS-mätning*. Hämtat 2.1.2026 från <https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/gps-geodesi-och-swepos/GPS-och-satellitpositionering/Metoder-for-GNSS-matning/Felkallor-vid-GNSS-matning/>

Lantmäteriverket. (2010) *Koordinatsystemet ETRS89. tas i bruk*. Hämtat 3.1.2025 från https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/old/ETRS_2010_RU.pdf

Lantmäteriverket (SWE). (2024) *Så fungerar GNSS*. Hämtat 18.11.2024 från chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.lantmateriet.se/globalassets/geodata/gps-och-geodetisk-matning/rapporter/lmv_rapport_2003-10_sa_fungerar_gnss.pdf

- Novatron. (2024) *3dwin*. Hämtat 14.3.2025 från <https://3dwin.fi/ohjelmisto/>
- Novatron. (2024a) *3D-koneohjaus kaivinkoneisiin*. Hämtat 13.3.2025 från chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://novatron.fi/wp-content/uploads/2025/01/Xsite-PRO-3D-LANDNOVA-X_esite-web.pdf
- Novatron. (2024b) *3D-koneohjauksen perusteet*. Hämtat 13.3.2025 från <https://novatron.fi/xsite-koneohjaus/3d-koneohjauksen-perusteet/>
- Novatron. (2024c) *Koneenkuljettajan pikaopas*. Hämtat 13.3.2025 från chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://novatron.fi/wp-content/uploads/2025/01/Koneenkuljettajan-pikaohje-Xsite-PRO-3D.pdf
- Novatron. (2024d) *Koneohjauksen pilvipalvelu*. Hämtat 19.4.2025 från <https://novatron.fi/tuotteet/ohjelmistot/koneohjauksen-pilvipalvelu/>
- Maanmittauslaitos. (2020a) *Geodesi och GNSS I Finland*. Hämtat 4.1.2026 <https://www.maanmittauslaitos.fi/sv/forskning/avdelningar/geodesi-och-geodynamik>
- Maanmittauslaitos. (2020b) *Koordinater och positionering*. Hämtat 5.1.2026 <https://www.maanmittauslaitos.fi/sv/kartor-och-geodata/koordinater-och-positionering/referenskoordinatsystem>
- One Point, Survey equipment. (u.å.) Hämtat från <https://www.onepointsurvey.com/products/leica-gs05-gnss-rtk-rover>
- Oy J-P Revahl Ab. (2024) [Företagspresentation]. Karperö. Hämtat 3.1.2025 från <https://www.revahl.fi/>
- Planör. (u.å.) *Digital uppmätning – 3D scanning*. Hämtat 17.2.2025 från <https://planor.se/planor-digitor/3d-scanning/>
- Rakennustieto. (2025) *InfraRYI*. Hämtat 12.3.2025 från <https://tilaukset.rakennustieto.fi/>
- Rakennustieto. (u.å.) *Yleiset inframallivaatimukset YIV* Hämtat 17.2.2025 från https://wiki.buildingsmart.fi/fi/04_Julkaisut_ja_Standardit/YIV
- Real time kinematic. (2025). *Wikipedia*. Hämtat från https://sv.wikipedia.org/wiki/Real_time_kinematic
- Seiler SX 12 totalstation. (u.å.) hämtat från <https://www.seilergeo.com/shop/trimble-sx12-scanning-total-station/>
- Springer Open. (u.å.) Hämtat från <https://satellite-navigation.springeropen.com/articles/10.1186/s43020-022-00089-9>
- Traficom. (2024) *Satellitnavigering störningar*. Hämtat 2.1.2026 <https://www.traficom.fi/sv/search?limit=20&offset=0&query=satellitnavigering%20st%C3%B6rningar>

- Traficom. (2024) *Traficom*. Hämtat 25.2.2025 från
<https://www.traficom.fi/sv/transport/sjofart/ofta-stallda-fragor-om-farleds-och-sjokortsreformen-n2000?toggle=Vad%20%C3%A4r%20h%C3%B6jdsystemet%20N2000%3F>
- Trimble. (u.å) Hämtat 18.3.2025 från
chrome-
extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://20395622.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/20395622/Trimtec%20Produktblad/Trimble_SX12_datasheet_en.pdf
- Trimble. (u.å) *GNSS Technologies* Hämtat 26.12.2025 från
<https://oemgnss.trimble.com/en/technologies>
- Wikipedia. (2024) *Satellitnavigation*. Hämtat 24.2.2025 från
<https://sv.wikipedia.org/wiki/Satellitnavigation>
- Ågren, J., & Hauska, H. (2012a). Referenssystem och kartprojektioner. i H. Lars, *Geografisk informationsbehandling*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Ågren, J., & Hauska, H. (2012b). Geodesi och geodetiska referenssystemet. Gävle: Lantmäteriet.
- Ågren, J., & Hauska, H. (2012c). Geodesi – teori och tillämpningar. Stockholm: KTH.
- Bilaga 1–12, Instruktioner för maskinstyrning
- Bilaga 13–21, Instruktioner för Surpad 4.0

Bilaga 1, Instruktioner för maskinstyrning



Instruktioner för 3D maskinstyrning

J-P Revahl Ab Oy

Novatron
skärm, med
förklaringar



Introduktion till chaufförer som använder 3D maskinstyrning

- Instruktionen innehåller
 - Användning och innehåll för modeller
 - Kontroll av av maskinernas positioneringsprecision
 - Lagring av inmätt data (Asbuilt punkter)
-
- Länk till YIV 2019, kraven för infrastrukturbyggande i Finland.
 - [BuildingSMART Finland](#)



3D modellernas innehåll, användning och mappstruktur

1. Först väljer man projektet som man skall arbeta på. Bild 1
2. Därefter väljer man modeller som man skall arbeta mot, bild 2 visar hur mappstrukturen kan se ut

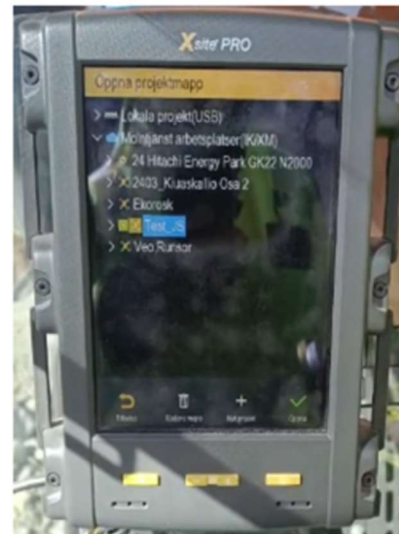


Bild 1

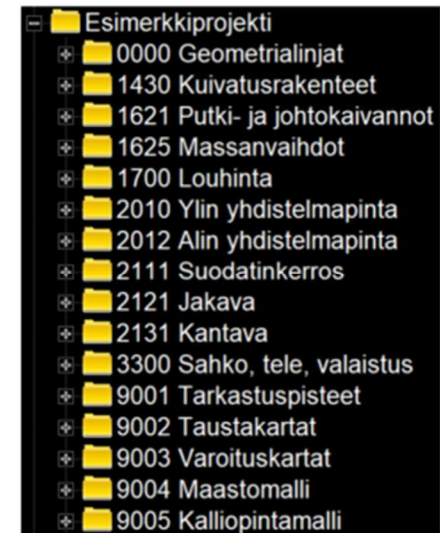


Bild 2

Bild 1 visar mappstruktur, vid val av projekt

Bild 2 visar mappstruktur, vid val av modeller

3D modellernas innehåll, användning och mappstruktur

Bild 1 visar strukturen över bakgrunder, dessa aktiveras man genom att trycka på glödlampan. Gul lampa betyder aktiv bakgrund, annars är den gråfärgad.

		Haltuunotto_GT-koonti!BG.dxf
		Rumpupituudet!BG.dxf
		Suunnitelmapartta_RS_ver2!BG.dxf
		Valaisinpylvaat!BG.dxf

Bild 1 Aktiva bakgrundsbilder

Bild 2 visar hur det ser ut när man har valt modell, här kan dessutom använda sig av lagerpilarna upp/ner för att välja specifik modell man vill arbeta med



Bild 2 Aktiv yt modell

3D modellernas innehåll, användning och mappstruktur

Mappstrukturen för modeller i ett projekt är följande i Novatronic 3d maskinstyrning

Under mappen yt modeller finns följande modeller

- Massabyte (under planerad schaktbotten)
- Den lägsta ytan (schaktbotten)
- Konstruktionslagrens yta (bärande-, fördelände- och filtreringslager)
- Husgrunder

Under mappen linjemodeller finns följande modeller

- Kommunalteknik (V&A, dagvattenlinjer)
- Trummor (väg och dikes trummor)
- Kablar (elkablar, fiber, kabelskyddsror)
- Konstruktionslagrens brytlinjer (var de olika lagren börjar och slutar)

Mätlinjer

- Vägbanas mittlinje (visar vägen mittlinje)

Punktmodeller

- Kontrollpunkter (var man kan kontrollmäta sin maskin)
- Brunnar (var brunnar skall monteras)
- Pelare (Var olika pelare skall monteras)
- Belysningsfundament (Placering av lampfundament)

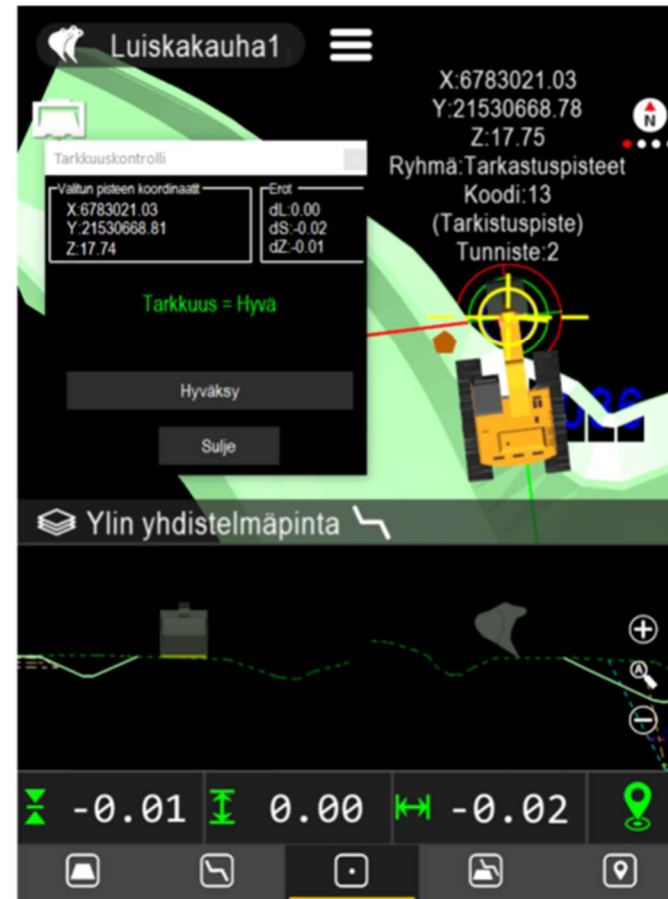
Bakgrundsbilder och varningsområden

- Bakgrundsbilder (bakgrundsbilder över arbetsområdet 2d, här visas även befintlig teknik)
- Varningsområden (Begränsningar för arbetsområdet)

Kontroll av maskinens positionsnoggrannhet

På arbetsområdet skall det finnas en kontroll mätpunkt. Denna punkt skall utsättas av en mätansvarig, genom denna mätpunkt kan maskinisten kontrollera sin positionsnoggrannhet.

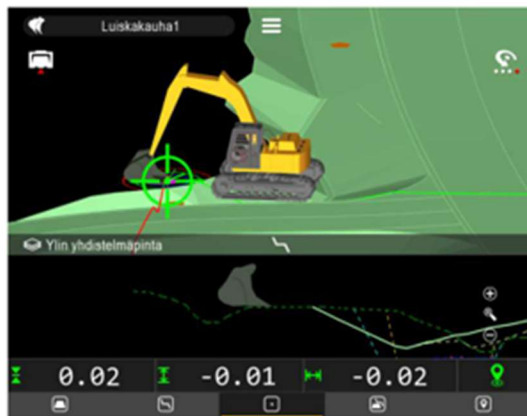
Maskinisten bör utföra denna kontroll en gång per vecka. När man utför denna kontroll jämför man maskinens koordinater mot kontrollpunktens koordinater. Detta ser man på bilden



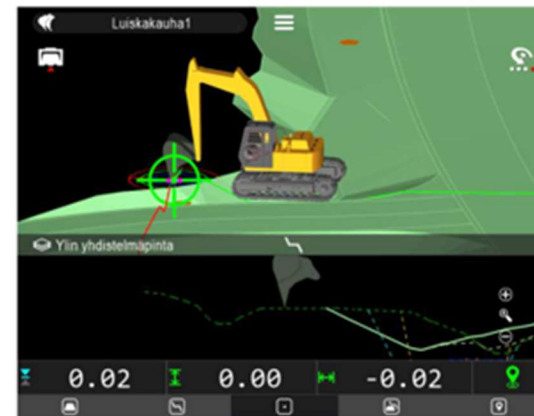
Kontroll av maskinens positionsnoggrannhet

När man utför en kontroll av positionsnoggrannheten bör man utföra den i två olika lägen, vilka är följande:

Läge ett på skopan vid kontroll av positionsnoggrannheten



Läge två på skopan vid kontroll av positionsnoggrannheten



Kontroll av maskinens positionsnoggrannhet

En skopas bett nöts ganska mycket under arbetet, vilket betyder att positionsnoggrannheten får avvikelser. Detta korrigeras genom att man kalibrerar skopans, vilket utförs på följande sätt. Menyn förkalibrering av skopa hittas under startsidan->setup->skopakalibrering

Kalibrering av nött skopa

1. Välj skopans som du vill kalibrera med hjälp av pilarna högst upp
2. Mät skopans längd ifrån sticktappen till skopans spets med ett måttband
3. Skriv in längdmåttet i meter på "Length" – Välj OK
4. Mät skopans bredd med ett måttband
5. Mata in bredden i meter på "Width" - Välj OK
6. Man kan namnge en skopa själv, genom att trycka på namnet och skriva in själv vad man vill att den skall heta
7. Placera magneten på stickspetsens tapp och fäst lodsnöret i magneten
8. Justera skopans så att lodsnöret nu hänger rakt mot skopspetsen
9. Tryck sen kalibrera och spara

Setting the dimensions of the tilt bucket

TR1 / L L15

TR2

L 15 Sensor 7

L 7 L 8

TR1 and TR2 are measured to rotation CP
Length values L7, L8 and L15 are measured in centimeter accuracy.
Set L15 to zero if you want to use tilt bucket without using tilt bucket sensor.

	L7	L8	L15	TR1	TR2	TR PPR	Invert TR Rotation
1:	88	88	36	25	37.5	1	■
2:	42	42	36	0	0	0	■

Inmätning av ytor och material (Asbuiltpunkter)

Mätpunkter bör tas för att vi som entreprenörer ska kunna påvisa till kunden att vi har utfört det beställda arbetet

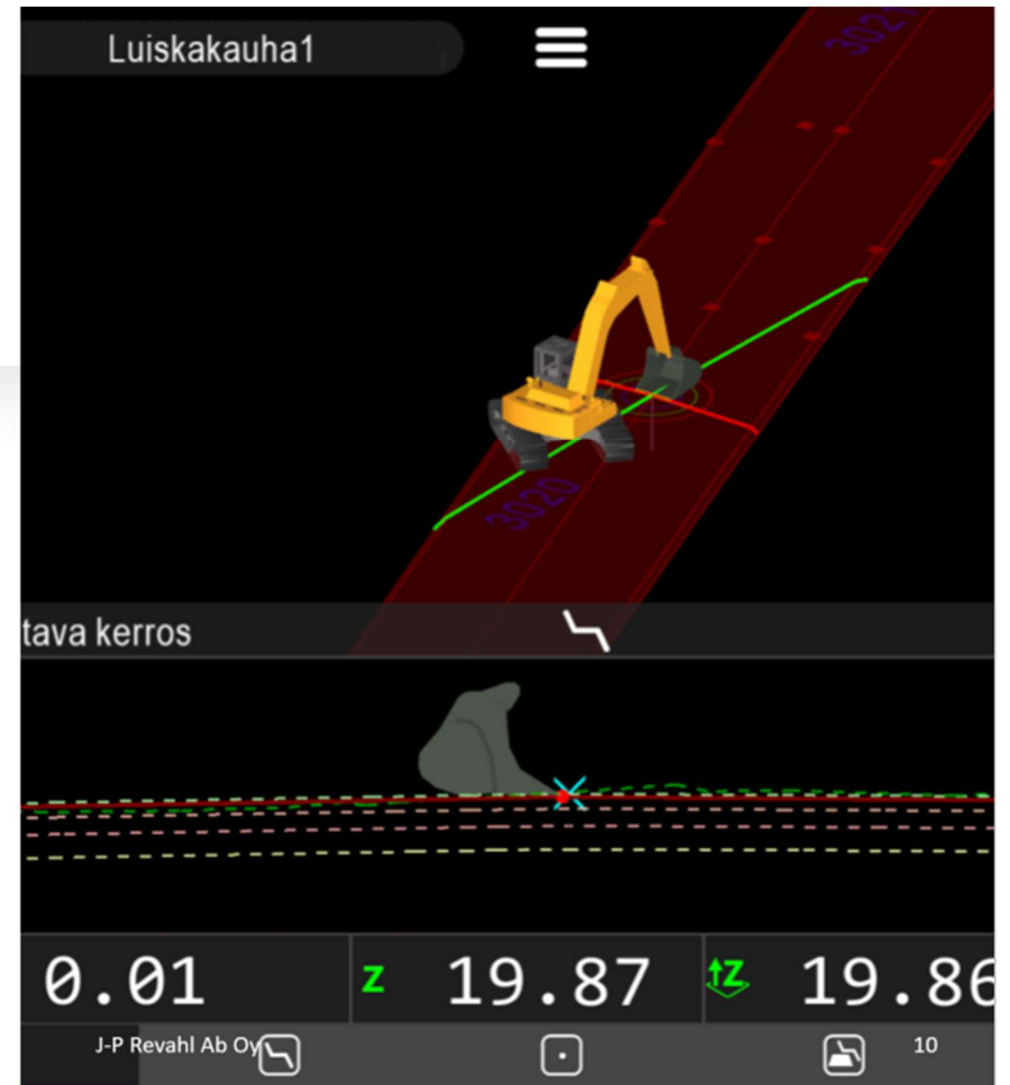
Det finns några saker som bör säkerställas före inmätning av asbuiltpunkter påbörjas och saker man bör ta i beaktan under själva mätningen.

Före inmätning:

- Grävmaskinens positionsnoggrannhet är kontrollerad och kalibrerad vid behov
- Personalen som skall utföra arbetet har rätt kunskap och fått instruktioner om vad som skall inmätas

Under mätning bör följande saker tas i beaktan:

- 3D maskinstyrningssystemet har tillräckligt bra signal
- Maskinen ska stå stilla under en inmätning
- Skopans brett är placerad där man vill ta själva mätpunkten
- Rätt del av skopan är vald, man kan välja mellan hörnen och mitten av skopan
- Att asbuilt punkten lagras (meddelande i skärmen) till den aktiva ytan och att den blir synlige efter utförd mätning (de röda punkterna som syns i bilden)



Inmätning av ytor och material (Asbuiltpunkter)

Det finns kvalitetskrav som vi bör uppfylla vid infrastruktur byggande, dessa bör uppnås för att vi skall kunna använda inmätningar som kvalitetsgranskningar, dessa krav är följande:

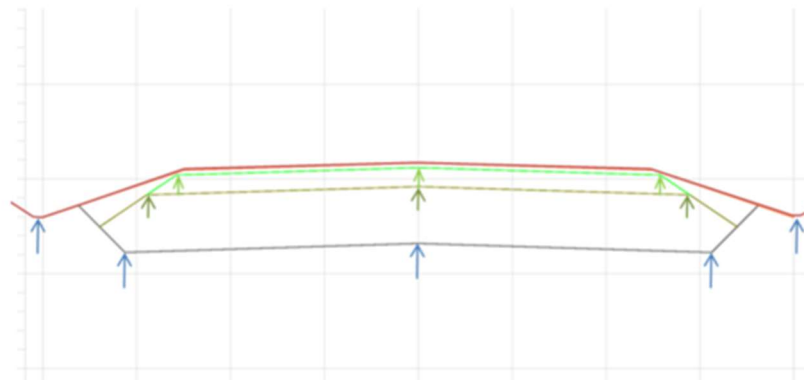


Bild 1 visar var man skall utföra inmätningar på ett vägprojekt

Bild 2 kraven för inmätningar

Väg- och gatukonstruktion					
Konstruktionslager	Mätavstånd (m)	InfraRYL mätkrav		Toleranser för arbetsmaskiner	
		XY(mm)	Z(mm)	XY(mm)	Z(mm)
Bärande lager	20	-0 ... +150	+20 ... 20	+50 ... -50	+20 ... 20
Delande lager	20	-0 ... +150	+30 ... -30	+100 ... -100	+30 ... -30
Filterringslager	20	-0 ... +150	+40 ... -40	+100 ... -100	+30 ... -30
Lägsta kombinationslagret	20	-0 ... +200	+0 ... -100 Under sprängsten +0 ... -200	+100 ... -100	+30 ... -30

Inmätning av ytor och material (Asbuiltpunkter)

Mätpunkter bör tas för att vi som entreprenör skall kunna påvisa till kunden att vi har utfört det beställda arbetet. Dessa mätpunkter tas på följande vis.


- För att välja kod så väljer man mätnings-fliken från infobalken
- Tryck på kod-knappen, bild 1 
- Välj den önskade koden från kodlistan eller skriv in en kod manuellt



Bild 1, visar längst till höger kod-knappen

- Efter att koden valts, tryck på kartnålen för att mäta in en punkt (bild2)
- När punkten har blivit inmätt, kommer en ruta upp som berättar att punkten har blivit lagrad
- Den inmätta punkten lagras mot den aktiva ytan



Bilaga 2, Instruktioner för Surpad



Instruktioner för SurPad

J-P Revahl Ab Oy

1

SurPad 4.0 &
L5 M-tab



Introduktion personal som utför mätningar och kontroller genom L5 M-tab och SurPad 4.0

- Instruktionen innehåller
- Hur man väljer projekt
- Hur man utför inmätning/kontroller av befintligt teknik/yta

- Länk till YIV 2019, kraven för infrastrukturbyggande i Finland.
- [BuildingSMART Finland](#)



Menyer, SurPad 4.0

1. Först väljer man projekt längst ner till vänster, därefter trycker man på projekthanterare och väljer projektet man skall arbeta med, bild 1.
2. När man valt projekt bör man gå in i koordinatsystemfliken och kontrollera så man har rätt koordinatsystem för projektet.
3. Väljer man mätning i menyn längst ner, för att sedan trycka på CAD där man väljer vilken CAD fil man vill arbeta med. Se filmklipp för detta utförande.

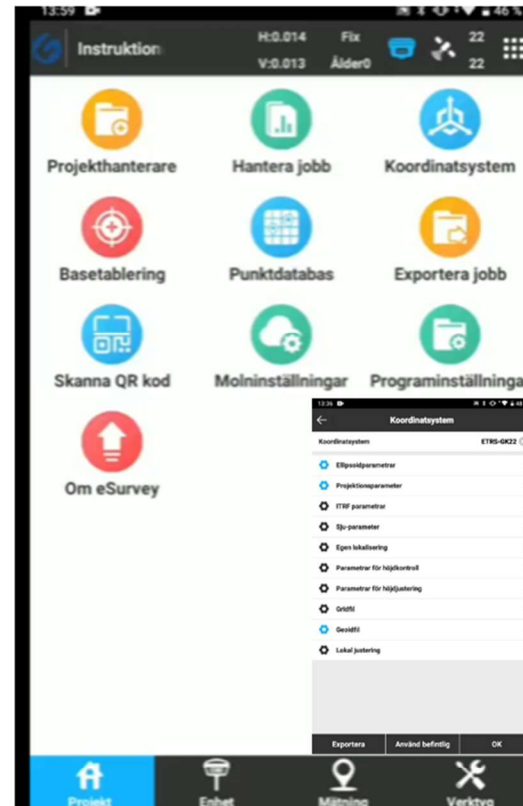


Bild 1

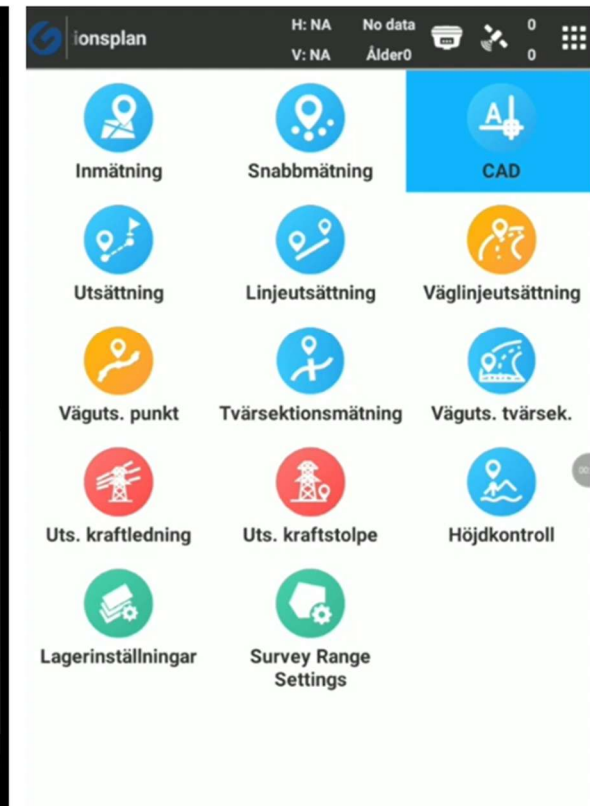


Bild 2

SurPad 4.0

Bilden visar en situationsplan över ett projekt.

I bilden ser vi högst upp till vänster en grön symbol med texten FIX efter sig. Det betyder att vi har en tillräckligt bra signal för att utföra controller eller inmätningar.

H & V visar vad vi har för felmarginaler | Horisontellt läge och vertikalt läge, siffrorna till höger om satelliten berättar hur många satelliter vi har kontakt med.

Den röda markören på bilden visar var man befinner sig.

Längst ner får vi fram koordinater och + höjd i detta fall.

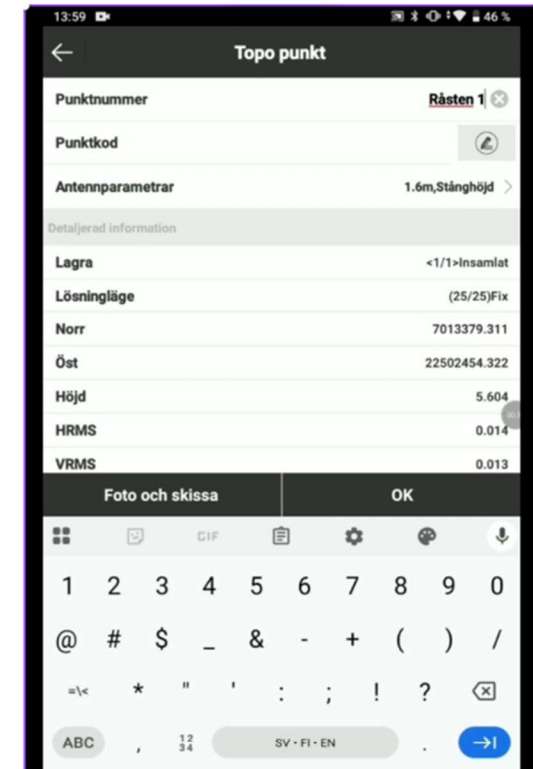
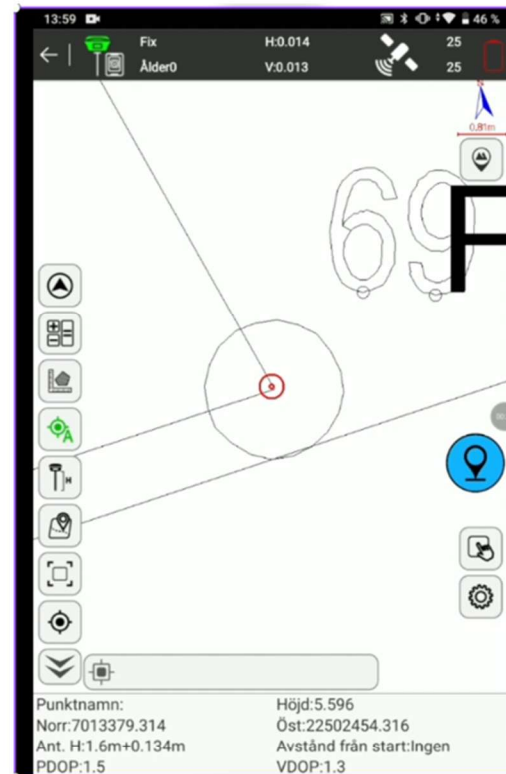


Ta en mätpunkt

När man har staven på objektet man vill mäta in, så kontrollerar man att signalen är tillräcklig (felmeddelande om signalen är dålig).

Klickar på den blåfärgade symbolen och följande ruta öppnas.

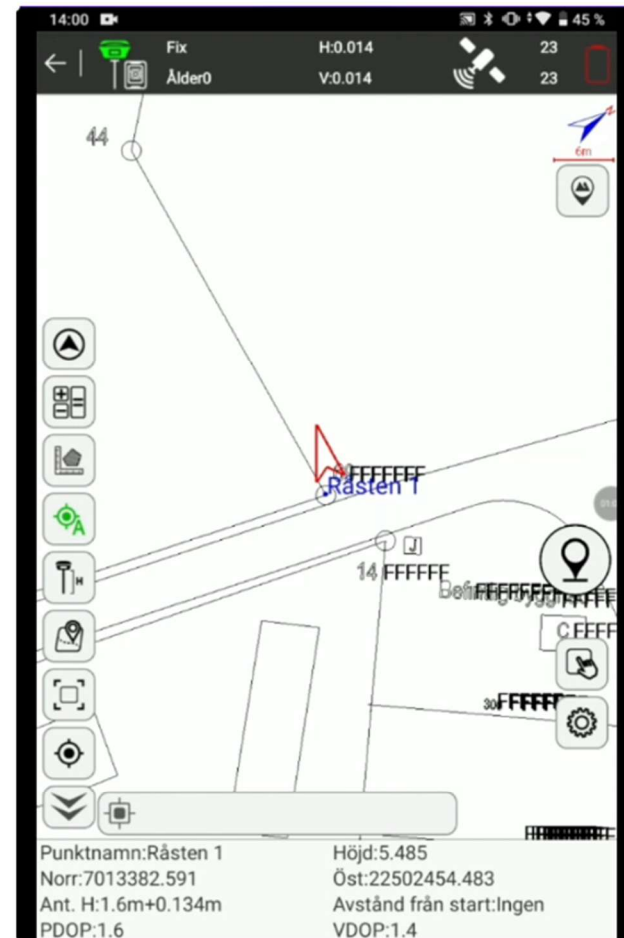
Här kan då skriva in ett namn för objektet, och välja en kod från en färdigt installerad kodlista.



Ta en mätpunkt

När man har tagit en mätpunkt bör man kontrollera att den blev sparad, detta syns på bilden. Punkten råsten 1 är skriven med blå text.

Skall man ta flera punkter är det bara att fortsätta på samma vis.

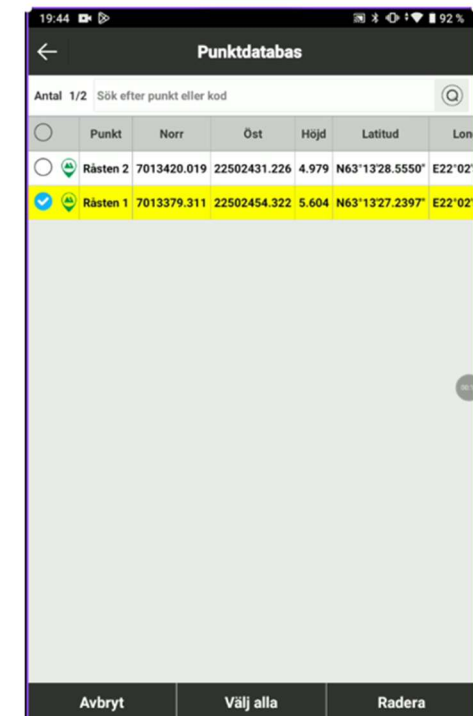
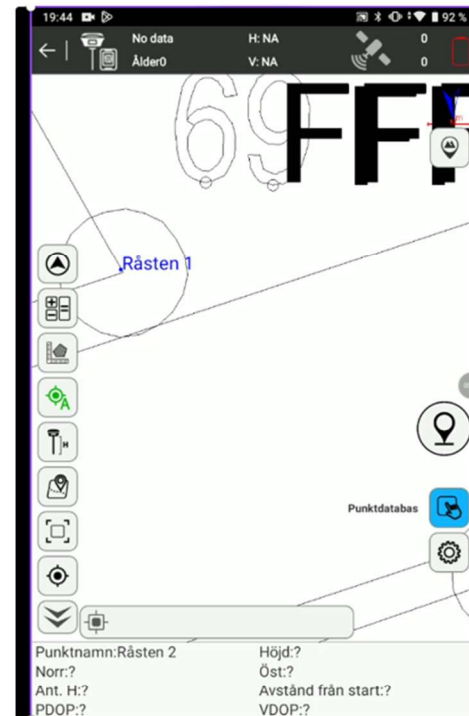


Ta en mätpunkt

Man kan kontrollera sina mätpunkter genom att klicka på den blå markerade symbolen.

Då öppnas följande meny med alla mätpunkter som är tagna på modellen.

Här kan man då radera en punkt eller kontrollera detaljer om en specific punkt.



Användning av mätdata

När man har mätt in alla objekt och ytor som man är intresserad av så kan man vidarebefoga mätdata till personalen som hanterar den.

Viktigt att komma ihåg när man utför mätningar med denna teknik är att man kontrollera att man har tillräckligt bra signal till satelliterna för att man skall kunna uppnå ett så korrekt mätvärde som möjligt.

En annan viktig detalj är att man bör stå stilla när man utför själva mätningen.

Själva mätdatan skall då behandlas i t.ex. 3D-win





QR-koddokument för instruktioner

Här finns två QR-koder som man kan scanna, den ena leder till ett dokument som gäller för L5 M-tab med Surpad 4.0 som vi använder inom företaget och den andra gäller för 3D maskinstyrnings systemet Novatron som vi har installerat i vår grävmaskin.

Scanna en QR-kod för att gå vidare till instruktioner för dessa verktyg.

L5 M-tab med Surpad 4.0



Novatron 3D maskinstyrning





QR-koddokument för instruktioner för L5 M-tab med SurPad 4.0

QR-kod till instruktioner i pdf format



QR-kod för val av projekt





QR-kod för inmätning av objekt på situationsplan





QR-koddokument för instruktioner för Novatron

QR-kod till instruktioner i pdf format



QR-kod för val av projekt (filmklipp)



QR-kod för val av modell (filmklipp)





QR-kod för inmätning (filmklipp)

Filmklipp 1



Filmklipp 2



QR-kod val av bakgrund (filmklipp)

