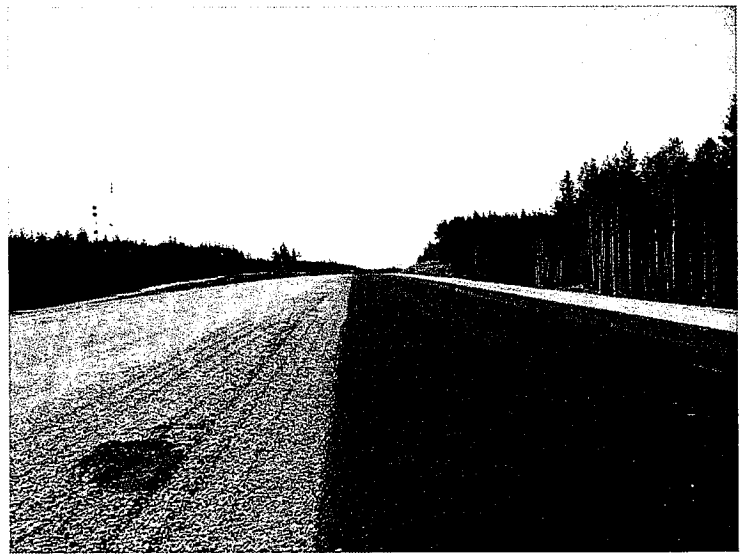
SBUF- Projekt: 11301

Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond

NY METOD

för entreprenörer vid egenkontroll av jämnhet och nivåer hos ytor



Ett projekt i samverkan mellan

NCC Construction Sverige AB

VTI Statens Väg och Transportforskningsinstitut

Geodesigruppen i Mellansverige AB

Projekt: 11301

Ny metod för entreprenörer vid egenkontroll av jämnhet och nivåer hos ytor

---

Ett projekt finansierat av
Svenska Byggbranschens utvecklingsfond

Projektet har bedrivits i samverkan mellan

NCC Construction Sverige AB
VTI Statens Väg och Transportforskningsinstitut
Geodesigruppen i Mellansverige AB

I projektet har medverkat följande personer:

- Håkan Spak NCC	Projektledare
- Leif Sjögren, VTI	Utredning
- Thomas Lundberg, VTI	Utredning, utvärdering
- Harry Sörensen, VTI	Programutveckling
- Peter Spindelberger, VTI	Konstruktioner
- Stig Englund, VTI	Konstruktioner
- Peter Andrén, VTI	Utvärdering
- Hans Holm, Geodesigruppen	Utredning, utvärd. rapport
- Stefan Starkman, Geodesigruppen	Mätning, tester

Försök och provning har i examensarbete utförts av
- Anna Björk och Helena Gryth 120 p Byggprogrammet Örebro univ.

Projekt: 11301

Ny metod
för entreprenörer vid egenkontroll av
jämnhet och nivåer hos ytor

Innehållsförteckning

KAPITEL	Sida
1. Projektets syfte	1
2. Referensgrupp	1
3. Bakgrund	2
4. Kontrollmätningars noggrannhet	5
5. Projektet	6
6. Utförda mätningar och tester samt exempel	41
7. Kompletterande behov av undersökningar och programvarans utveckling	48
8. Sammanfattning	49
Bilagor	

Ny metod för entreprenörer vid egenkontroll av jämnhet och nivåer hos ytor

Projekt: 11301 finansierat av
Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond

Ämneskategori: Hus – Bjälklag, golv, grunder, kvalitet
Vägar- bundna och obundna lager, asfalt, betong

1. Projektet syfte

Byggbranschen har sedan länge haft behov av att utveckla bättre, snabbare och noggranna metoder för att mäta jämnhet, lutning och nivåer på ytor. Av särskilt intresse har varit att främst utveckla ny teknik som entreprenörens verktyg för att mäta de egenskaper som erhålls under och i produktionsarbetet. Genom mätning i tidigt skede kan en produktionsprocess utförande verifieras att den motsvarar angivna krav och förväntningar och kostsamma efterbehandlingar undvikas.

Projektet har inriktats mot att mäta jämnhet, lutning och nivåer på golv och undergolvskonstruktioner, på vägar och deras olika underytor samt beläggningar.

Metoden som utvecklats har baserats på totalstationen som är ett allmänt förekommande mätinstrument i entreprenadbranschen. Med detta instrument, utvecklade mätdon och programvara har en metodik kunnat utformas som svarar mot de krav som branschen anger för ytors uppmätning.

2. Referensgrupp

Som referensgrupp för projektet har följande personer medverkat:

- Johan Dahlgren	STEV, Vägverket Borlänge
- Morgan Falck	NCC Construction Sverige AB, Stockholm
- Gunnar Josefsson	JM AB, Stockholm
- Johan Wesley	Skanska Sverige AB, Kalmar

Referensgruppen har informerats via rapporter om projektets framskridande.

3. Bakgrund

- Hur branschen formulerat krav och mäter jämnhet och nivåer -

• Husbyggnad – golv

Gällande krav i landet för golv anges i HusAMA 98. Krav anges för golvets nivå, som indirekt bestämmer rumshöjder samt för golvets lutning och buktighet. Följande grundkrav, med hänvisning till HusAMA:s koder gäller generellt (anger baskrav) såvida dessa inte justerats i objektspecifika beskrivningar.

01.S **Sammansatta byggdelar**

För undergolv och golv bestäms lutningen på mätlängden L, inom rummets begränsningar. Detta oavsett om mätning utförs innan väggar monterats.

Kommentar: Praktiskt innebär detta att lutning bestäms ur nivåmätning mellan två punkter, valfritt placerade invid väggar.

43.DB/11 **Golv – platsgjuten betong**

Mått	*Mätlängd m*	*Tolerans mm*
Buktighet	0,25	± 1,2
Buktighet	2,0	± 5
Lutning	L	L/600, lägst ± 8 högst ± 20
Läge i nivå (från fix)		± 20
Språng vid öppningar mellan rum		5

Kommentarer:
- Mätlängden L anges i mm.
- När fall anges för lutning får ej bakfall förekomma. (Om fall ej anges kommer bakfall att finnas. Fall måste anges om t.ex. vattenavrinning skall ske i våtrum).
- Läge i nivå utgör en överbestämning för att reglera rumshöjder. Alla buktigheter och lutningskrav skall inrymmas inom detta mått.

43.DC **Undergolv**

Toleranskraven är här uppdelade i klass A och klass B. Klass A skall anges när undergolvet skall utgöra underlag för ytskikt av parkett och laminatbräder.

Skillnaden mot kraven i 43.DB/11 ovan avser enbart en skärpning av buktighet på två meter till ±3 mm. Klass B är identisk med kraven ovan.

44.BB Ytskikt på golv

Toleranskraven är utformade med två klasser och samma krav som 43.DC ovan.

ANM. För betongytor anges även krav på ytojämnheter enligt tabell ESB/1, ESE/3. Dessa krav har ej medtagits i den utvecklade metodiken. Ytojämnheter av denna typ besiktigas normalt och bedöms okulärt och mäts med särskilda tolkar.

- **Prefabricerade betongelement – bjälklag / plattbärlag och balkar**

Toleranskrav anges i Betongvaruindustrins häfte 31B som ingår i handboken "Bygga med prefab". Med den utvecklade metodiken är det möjligt att på element mäta

- Avvikelse för utböjning på balkar och bjälklagselement.
- Krokighet i sidled.
- Längd-, bredd- och vinkelavvikelse.
- Läge i nivå och fogsprång.
- Lägen av ingjutningsgods.

Utböjningskraven varierar mellan olika elementtyper. Vid mätning skall samma typ av element med samma nominella mått mätas för sig, dvs. partiet. Den tillåtna avvikelsen är skillnaden mellan ett elements enskilda värde och det mätta partiets medelvärde på utböjningen (överhöjningen).

I projektet har ej mätning utförts praktiskt på element. I avsnitt 5.4 redovisas tekniken och hur mätning kan ske. Provmätningar förväntas ske under hösten 2005. Eventuellt kan denna del läggas ut som examensarbete.

• Anläggning – vägar och broar

Vägar – krav enligt ATB Väg 2004 (och även AnläggningsAMA 98)

Krav som berör jämnhet, nivåer, tjällyftning och dimensionsmått anges i ATB Väg i följande delar:

- Kapitel A Gemensamma förutsättning. *Avser krav på den belagda vägen.*
- Kapitel E Obundna material. *Avser obundna lager från undre terrass och upp till bundna lager (Normalt t.o.m. bärlager).*
- Kapitel F Bitumenbundna lager. *Kraven formulerade i kapitel A.*
- Kapitel G Cementbundna lager. *Vid överyta av cementbetong enl. kapitel A.*

De olika kraven avser enligt tabell 3.1 de mått/storheter som skall innehållas.

Tabell 3.1

Mått/Storhet	Mätvariabel	Kontrollomfattning	Mätdon	Mätbar med projektets metod
Ojämnhet i längsled. Belagd yta. Kap A	Ojämnhetsindex IRI mm/m.	Körfält 400 alt. 800 meter eller vägsträcka 400 meter.	- Mätbil. - 3 meters rätskiva.	Ja, med viss begränsning. Ger bättre resultat än rätskiva. Något sämre än mätbil.
Ojämnhet i tvärled. Belagd yta. Kap A	Ojämnhet (spår). Ytlinjemetoden. Rätskivenormal.	Körfält 20 resp. 400 meter. Väg 400 meter eller körfält 800 meter.	- Mätbil. - 3 meters rätskiva.	Ja. Kan ersätta främst rätskiva.
Tvärfallsavvikelse. Belagd yta. Kap A	Medelavvikelse från riktvärdet.	Körfält 400 meter. Väg 400 meter eller körfält 800 meter.	- Mätbil - Bogserad mätvagn. - 3 meters rätskiva.	Ja. Kan ersätta främst rätskiva och bogserad mätvagn.
Tjällyftning. Belagd yta. Kap A	Maximal lyftning i mm baserad på hastighet och klimatzon samt åtgärd.	Ej angiven sträcka. Hanteras som enskild avvikelse.	Ej angivet.	Ja. Mätning av längsprofil /nivåer och jämförelse efter ny mätning.
Nivåmätning undre terrass. Kap E	Krav på nivå.	Sektion var 10:e meter med tre mätta punkter.	Ej angivet.	Möjligt.
Nivåkrav för överbyggnad och terrass. Kap E	Krav på nivå för lagerytor.	Slumpade enskilda punkter eller yttäckande kontroll. Max. kontrollyta 2500 m².	Mätmetod med noggrannhet inom 4 mm:s standardavvi-kelse.	Ja. Yttäckande mätning eller ur slumpade punkter från yttäckande mätning.
Lagertjocklek vid bärighetsförbättring eller underhåll. Kap E	Krav på tjocklek av lager.	15 sektioner med tre mätta nivåer per sektion. Lageryta max. 2500 m².	Avvägning.	Ja.
Ojämnhet i längsled vid bärighetsförbättring och underhåll. Kap. E	Ojämnhet översta obundna lagret. Rätskivenormal.	Vägsträcka 400 meter eller körfält 800 meter.	3-meters rätskiva.	Ja.
Tvärfallsavvikelse vid bärighetsförbättring och underhåll. Kap. E	Medelavvikelse från riktvärde.	Vägsträcka 800 meter.	3-meters rätskiva eller bogserad mätvagn.	Ja.
Lagertjocklek cement-bundet grus. Kap G	Medelvärde.	3000 m² lageryta. Stickprov / provkroppar.	Skjutmått.	Möjligt.
Jämnhet cementbundet grus. Kap. G	Rätskivenormal.	Vägsträcka 400 meter eller körfält 800 meter.	3-meters rätskiva.	Ja.
Tvärfall cementbundet grus. Kap. G	Medelavvikelse resp. enskild avvikelse.	Vägsträcka 400 meter eller körfält 800 meter.	3-meters rätskiva eller bogserad mätvagn.	Ja.
Tjocklek cement-betong. Kap. G	Medelvärde.	Lageryta 10000 m². Stickprov, provkroppar.	Skjutmått.	Möjligt.

ANM. Angivna krav i tabellen är ej komplett redovisade. För vissa tilläggskrav som t.ex. grovt fel m.fl. hänvisas till resp. tabell i ATB VÄG.

Av sammanställningen framgår dels att ett flertal olika metoder såväl som mätdon används. Erfarenheter visar också att ett antal metoder ej ger enhetliga resultat d.v.s. att mätnoggrannheten är för dålig eller att olika refererade metoder ger olika svar. Detta kan rendera underkännande med viss metod där andra alternativ till mätning skulle ge godkännande. Ett sådant förfarande kan drabba både utförare och beställare med trolig samma risk.

Genom den i projektet utvecklade metodiken erhålls ett stort antal mätningar under kort tid och med god noggrannhet. Detta minskar risken för att mätningens resultat skall bli missvisande.

4. Kontrollmätningars noggrannhet

Vid kontrollmätning som utförs gentemot ställda krav eller toleranser angivna generellt för byggnaders konstruktioner ges i standarden SS-ISO 7077 rekommendationen att mätmetodens standardavvikelse bör vara i storleksordningen 1/10 av den tillåtna avvikelsen för mått eller utförandemoment.

Denna relation skall dels beaktas avseende tekniska och ekonomiska faktorer. Detta innebär bl.a. följande ställningstaganden:

- Har den yta eller komponent som skall kontrolleras sådan "finish" att denna noggrannhet är möjlig att erhålla?
- Finns metodik och mätdon som kan uppnå denna noggrannhet och är dessa rimliga att använda ur ekonomisk synvinkel?
- Är angivna krav rätt motiverade eller finns ytterliggare utrymme som ej äventyrar funktion, passning och hållfasthet?

Där så är möjligt är givetvis denna relation – 1/10 – eftersträvansvärd och särskilt då mätningen påvisar avvikelser i gränsskiktet för det tillåtna och angivna krav är väl underbyggda. Dock har det visat sig att denna relation ej enkelt kan uppnås med dagens metoder och mätdon. Dessutom har ett flertal av de krav som anges en viss tolkningsmån för överskridande utan att det nämnvärt påverkar säkerhet och funktion. Föreslagna relationer mellan krav och kontrollmetodens noggrannhet ur praktisk betraktande kan i de flesta fall anges till

- **1/7** där ytor och komponenter har god finish och mätmetodik så medger.
- **1/5** där ytor och komponenter har sämre finish.

Dessa relationer skulle innebära följande krav på mätningens standardavvikelse:

Tolerans /Tillåten avvikelse	Kontrollrelation 1/7	Kontrollrelation 1/5
1 mm	0,15 mm	0,2 mm
3 mm	0,4 mm	0,6 mm
5 mm	0,7 mm	1,0 mm
10 mm	1,4 mm	2,0 mm
15 mm	2,1 mm	3,0 mm
20 mm	3,0 mm	4,0 mm
30 mm	4,0 mm	6,0 mm

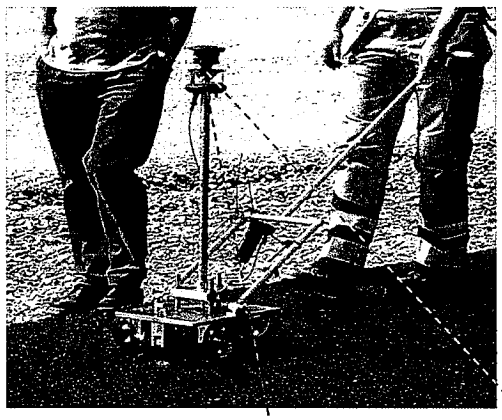
ANM. Beaktansvärt vid mätning är att noggrannheten kan, om ej systematiska fel är påtagliga, normalt förbättras genom två mätningar (extra kontroll) till $S/\sqrt{2}$ där S anger standardavvikelsen.

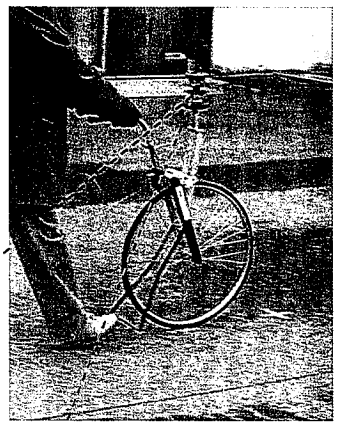
5. Projektet

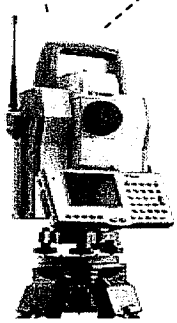
Projektet startades upp under hösten 2003 med byggande av en jämnhets- och yttestare i form av en handdragen mätvagn. Mätvagnen avsåg i första hand kontroller på jämna ytor som golv och vägbeläggningar. Denna mätvagn kompletterades senare med ett mäthjul för mätning av grövre ytstrukturer som obundna lager på vägar o.dyl.

Mätning på nybelagd asfalt

Mätning på ojämn äldre asfaltbeläggning







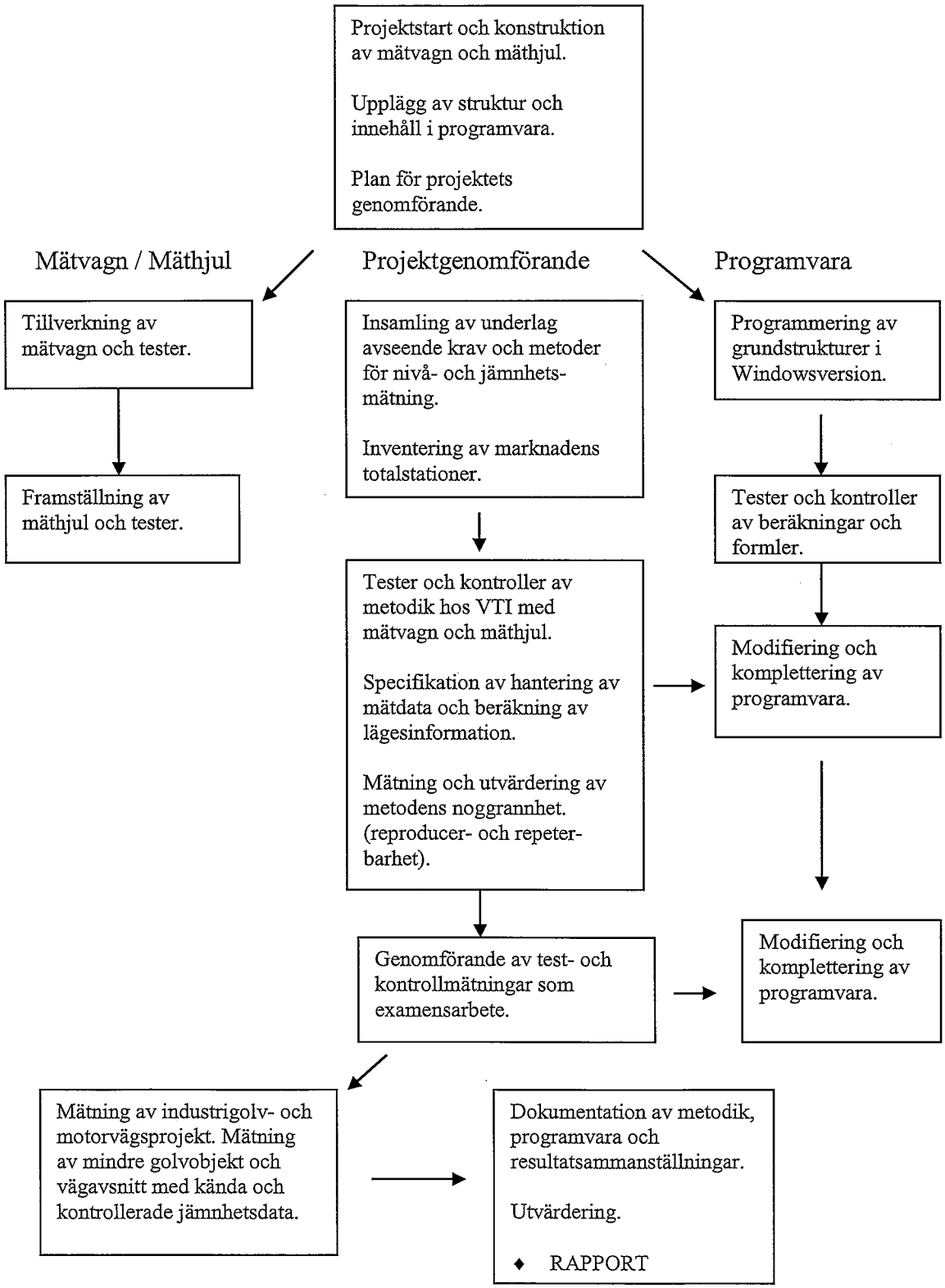
Principen för mätning är enkel. Man för mätvagnen eller mäthjulet över den aktuella ytan. Totalstationen låser inriktningen på prismat och följer detta i rörelsen. Samtidigt mäts prismats läge kontinuerligt med horisontal- och vertikalvinkel samt lutande avstånd. Mätning kan ske upp till ca 10 gånger per sekund beroende på totalstationens fabrikat. Registrering sker i instrumentets internminne och töms sedan över till dator för beräkning av läge och höjd av mätta punkter. Prismats höjd över mäthjulets undersida skall vara noggrant bestämd.

Vid tillämpningen skall finnas ett utgångssystem i plan och höjd samt utgångspunkter att mäta från eller till (fri station). Utgångssystemen kan vara rikets system eller helt lokalt upplagda system i plan och höjd, beroende på den tillämpning av mätning resp. koppling till applikation som avses. T.ex. där känd nivå ej erfordras, som för ojämnhetsmätning, erfordras enbart

relativa höjdskillnader. Dock för att verifiera resultatet behövs i allmänhet relationer till kända punkter som kopplats till system i plan och höjd.

5.1 Genomförande

Projektet har genomförts enligt följande flödesschema:



5.2 Metodbeskrivning

Mätvagnen

Den utvecklade mätvagnen är konstruerad för att dras eller skjutas för hand. Mätvagnens bottenplatta bärs upp av tre hjul och centriskt i vagnen finns ett fritt mäthjul, inbyggt i en cylinderkonstruktion, som följer underlaget fristående från vagnens rörelser. Cylinderstången med mäthjulet har upptill ett standardfäste för montering av mätprismat. På cylinderstången kan en extra förlängd stång apteras som ger prismat ett högre läge, om så är önskvärt för siktförhållanden och nedbringade av refraktionens inverkan.

Mätvagnen kan dras eller skjutas fram, t.ex. vid inpassning på viss sektion eller linje eller för att medge sikt till totalstationen.

Mätprisma som apteras är en rundprisma, d.v.s. som medger mätning från alla riktningar. Mätprismat bör även vara av den typ som medför högsta mätprecisionen och bästa låsning av mätstrålen från totalstationen.

Mätvagnen är avsedd för kontrollmätning på underlag med god ytjämnhet som undergolv eller golvbeklädnader, betongytor och vägbeläggningar. Mäthjulets diameter är anpassad för att fånga in små ojämnheter.

Mäthjulet

Under projektets inledning framkom att ett större mäthjul var önskvärt för att kunna kontrollmäta ytor med grövre ytstrukturer. Mäthjulet, som är ett standardmäthjul, försågs med en fästanordning för prisma samt en speciell doslibell normalt använd för uppriktning av byggkranar. Mäthjulet, med hjuldiameter på ca 0,9 meter, skjuts framåt för hand samtidigt som vattenpasset kontrolleras. Små förändringar i horisonteringen påverkar ej höjdmätningen.

Mäthjulet användes bl.a. för att kontrollmäta obundna lager i vägkonstruktioner, markytor och grövre betongstrukturer. Genom mäthjulets stora radie erhålls ej små ojämnheter i ytors struktur.

Totalstationen

Vid test- och produktionsmätningar användes två av marknadens vanligast förekommande fabrikat av totalstationer, båda med funktionen att kunna låsa på prisma och följa detta under rörelse och samtidigt ge kontinuerliga mätdata. Maximalt snabbaste mätning kunde utföras med ca 10 registreringar per sekund. Mätvagnen eller mäthjulets rörelse fick anpassas till den täthet av mätningar av ytan som var önskvärd.

Vissa möjligheter finns med instrument att ställa mätning på intervall i tid eller sträcka. Detta ger dock ökad mättid vid registrering och mindre antal mätningar. En annan möjlighet är att vid den senare beräkningen sortera ut mätningar som är överflödiga.

Totalstationen registrerar horisontal- och vertikalvinkel till prismats centrum samt mäter det lutande avståndet. För att beräkna läget i koordinater och höjden på ytan i detta läge erfordras känd höjd i totalstationen och prismacentrums höjd över ytan (underkant mäthjulet).

Beräkning av mätt punkt sker med formel för metoden "Trigonometrisk höjdmätning + polär inmätning".

Vid mätning kan tid registreras och gånghastighet och avstånd mellan mätta punkter erhållas.

Inmätningsfilen från totalstationens lagringsutrymme läses sedan in i dator, kontrolleras och beräknas med ovanstående formel. Vid utförda tester och produktionsmätning användes beräkningsprogram GEO. Från GEO lästes sedan en s.k. PXY-fil med höjder in i det särskilt utvecklade programsystemet.

Korrektioner vid mätning

En totalstation mäter vertikalvinkeln utgående från Zenit (zenitdistansen) som utgör vertikalvinkeln 0 gon. Zenit definieras i totalstationen av att instrumentet horisonteras och en pendel ställer in sig i tyngdkraftens riktning nedåt. I motsatt riktning erhålls då zenit.
Vid mätning av vertikalvinkel erhålls en riktning som ej följer den rundade jordytan. Korrektion måste därför ske till *jordytans krökning*. Denna krökning kan beräknas till ca 78 mm på 1 km:s sträcka i Mellansverige.

Vid mätningar passerar siktlinjen genom olika temperaturskikt i luften som ger upphov till *refraktion*. Ett föremål syns således ligga högre än det gör i verkligheten. Korrektionen på 1 km:s sträcka beräknas till ca – 11 mm. Korrektionen – refraktionskonstanten – varierar med temperatur och lufttryck men brukar generellt anges till värdet 0,14.

Vanligen sätts formeln för jordkrökning och refraktion samman till uttrycket

$$\text{Korrektion} = \frac{S^2}{2r} \times (1-k) \text{ där}$$

S är avståndet i meter
R är jordytans krökningsradie i meter (6 389 000 i mellersta Sverige)
k är refraktionskonstanten 0,14

Sammanställs dessa korrektioner för några rimliga mätavstånd med metodiken erhålls värden enligt tabell nedan.

Mätavstånd i meter	Jordkrökn.korr mm	Refraktionskorr. mm	Summa korrektion mm
50	+0,2	-0,03	+0,17
75	+0,44	-0,06	+0,38
100	+0,8	-0,1	+0,7
150	+1,8	-0,2	+1,6
200	+3,1	-0,4	+2,7

Av tabellen framgår att korrektionen börjar påverka mätresultatet på ca 75 meters avstånd.

Refraktionen kan påverka mätningar negativt särskilt om mätsikten går nära markytan och mätstrålen passerar olika temperaturskikt. Vid blåst blandas luften om och en mer enhetlig temperatur uppstår som kanske medför ingen eller ringa refraktion. Vid molnigt väder antas mindre påverkan av refraktion.

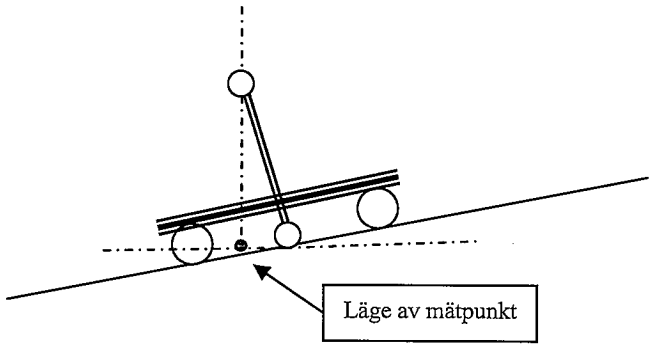
Med dessa synpunkter kan för mätningar utomhus följande regler anges avseende mätavstånd mellan prisma och totalstation:

- Soligt väder och sikter nära markytan. Max 100 meter.
- Soligt väder och sikter någon meter över markytan. Max 150 meter.
- Molnigt väder och blåst. Max 200 meter.

En ytterliggare viktig faktor är att ej placera totalstationen högt relativt prismat och mätvagnens tänkta mätsträcka. Genom att mätlängder erhålls i trackingläge så kan avståndsmätningens noggrannhet påverka höjdresultatet. Några meters höjdskillnad vid längre avstånd är dock godtagbart.

Korrektion för lutande mätvagn

Vid framförandet av mätvagnen på lutande ytor kommer cylinderstaven med mätprismat att luta i motsvarande grad som underlaget. Ju högre mätprismat är beläget desto större avvikelse kommer att ske avseende läget och viss reducering av höjdskillnaden.
Avvikelserna redovisas schematiskt i figuren nedan.



Enligt figuren blir korrektionen för läget i plan (x,y) större än korrektionen i höjd. Om en yta har lutning både längs och tvärs en väg t.ex. med lutning 4 % längs och 2,5 % tvärs så flyttas mätpunktens läge även i sidled. Har då dessa korrektioner någon betydelse? I diagrammen nedan ges värden för olika prismahöjder och underlagets lutning och hur det påverkar mätpunktens plan- och höjdläge. Beakta att dessa korrektioner ej gäller för det större mäthjulet, som alltid hålls i lodlinjen.

I Diagram 1 redovisas prismats förskjutning i längsled vid ett lutande underlag. Diagrammet kan användas för förflyttningar i både längs och sidled. Om lutningen är 4 % och prismahöjden är 1,0 meter erhålls förflyttning i plan av prismat med 40 mm. Om sidolutningen samtidigt är 3 % erhålls även ett sidoläge på 30 mm. Radiellt blir detta ett sidoläge på $\sqrt{40^2+30^2} = 50$ mm.

I diagram 2 nedan visas prismats höjdförändring vid lutande underlag.

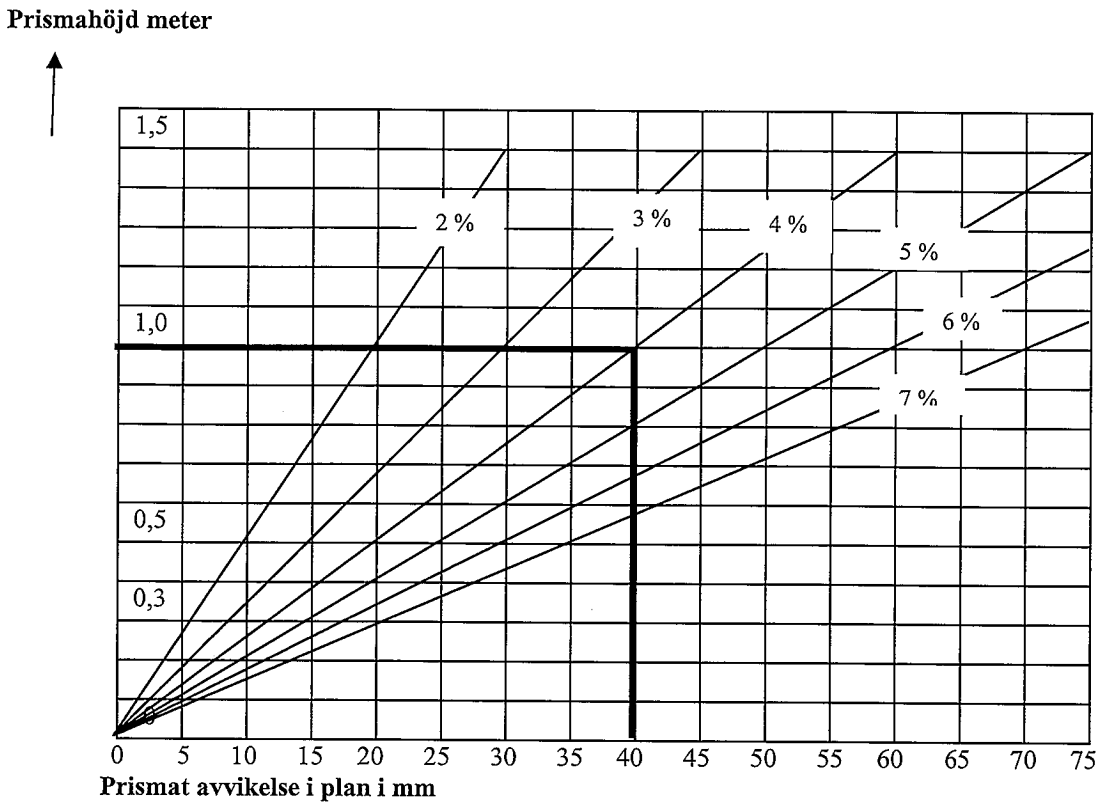


Diagram 1 utvisande sidoförflyttning av prismat vid lutande underlag.

Exempel: Vid prismahöjd 1,0 meter och lutning 4 % förflyttas prismat 40 mm.

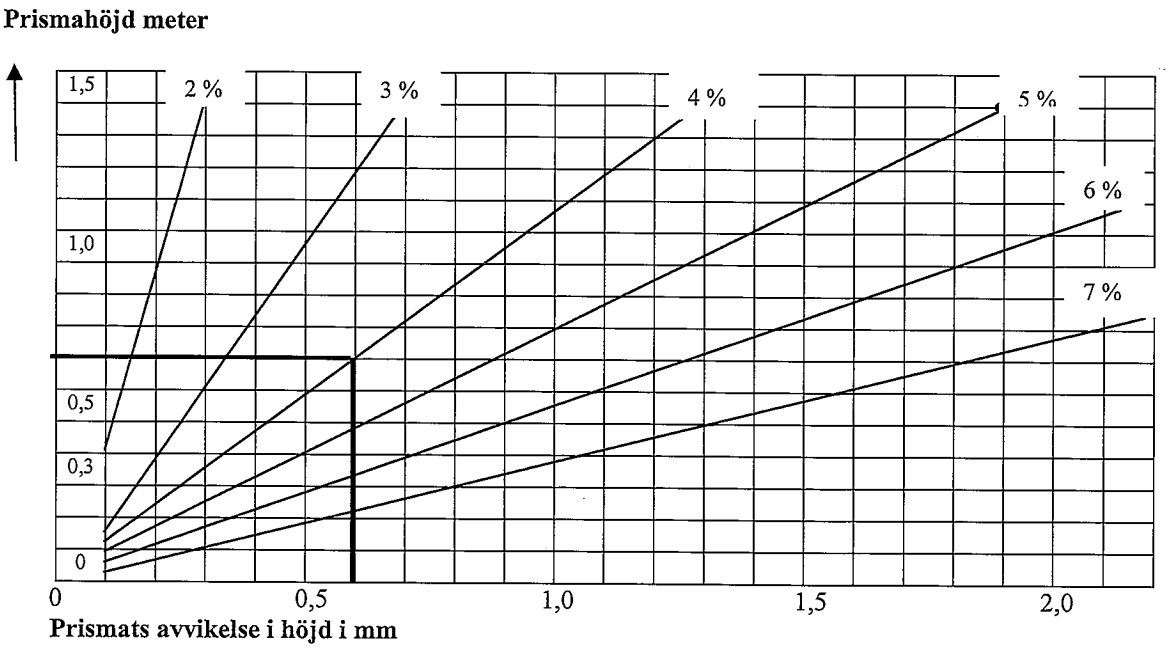


Diagram 2 utvisande prismats höjdförändring vid lutande underlag.

Exempel: Vid prismahöjd 0,7 meter och 4 % lutning minskar höjden med 0,6 mm.

Beträffande diagram 2 så skall beaktas om även underlaget har en lutning längs och tvärs. Då reduceras höjden ytterliggare med tilläget för sidolutningen, d.v.s. längslutningens korr. + sidolutningens korr. ger total höjdkorrektion.

Beroende på den noggrannhet som erfordras av mätresultatet skall plan och höjdläget justeras enligt digram 1 och 2. Diagrammen redovisar att en låg prismahöjd över mätobjektet är att föredra då korrektionerna minskar. Korrektionerna utförs lämpligen i beräkningsprogrammet i samband med att koordinat- och höjdberäkning utförs och PXY-filen överförs till projektets programsystem.

5.3 Programsystemet

Programsystemet för hantering av data och utvärderingar av mätningar är Windowsbaserat.

Systemet är uppbyggt för att kunna ta emot filer från olika leverantörers system avseende totalstationer. Systemet kan även hantera mätdata från Excel och s.k. textfiler vilket gör det användbart för de flesta instrumenttyper.

Ingångsdata från mätningar utgörs generellt av

X-koordinat -- Y-koordinat -- Z-koordinat (höjd).

Eventuell tilläggsinformation till dessa uppgifter kan vara sektions läge, kod, punktnummer e.dyl.

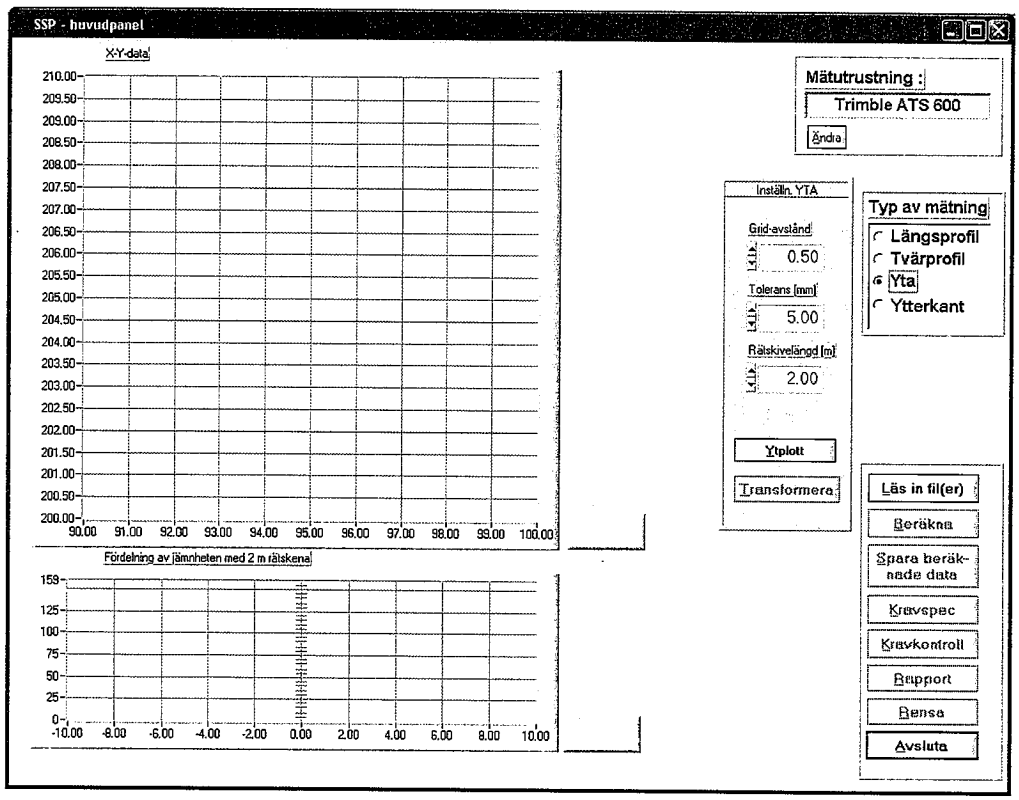
Mätdata skall vara beräknade först i ett generellt geodetiskt programsystem, som kan vara tillgängligt direkt i totalstationen eller överförs från denna till ett datorbaserat system.

Programsystemet är uppbyggt för att klara de mest angelägna tillämpningar för jämnhetsmätning.

Programsystemets upplägg och innehåll

Programsystemet har benämnts SSP som står för Surface Surveying Program.

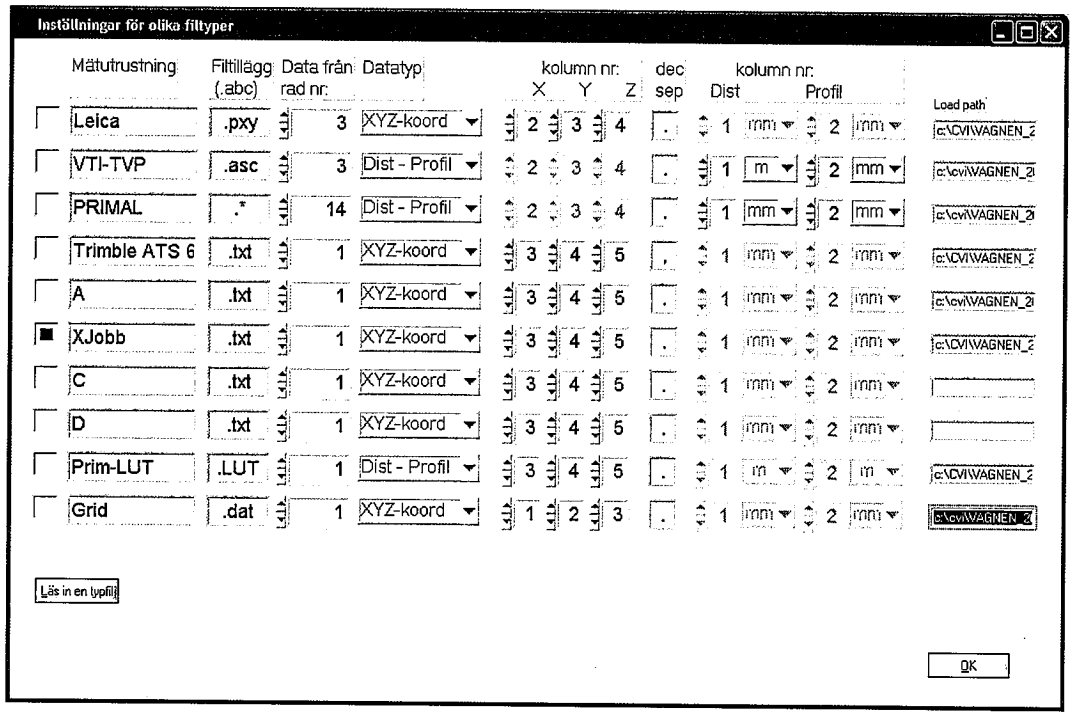
Systemet är uppbyggt i en huvudpanel som nås via startsidans ingång för hus- eller vägapplikation. Huvudpanelen är gemensam för dessa applikationer. Huvudpanelen redovisar de applikationer som är tillgängliga, d.v.s. utgör en form av startsida för inläsning av data och beräkning.



Utvecklade programrutiner utgörs av

- **Inläsningsdel** av filer där olika instrumenttyper som totalstationer, bilburen laserskanner, Primal (radiostyrd profilmätare), rutnätsdata (grid) samt olika filformat av grunddata (x,y,z) kan anges. Inläsningsdelens utseende visas på bild nedan.

  Inläsning av data är generell för hus- och vägapplikationer.



❑ Tillämpningar för hus

Hur mätningens utförande av golv går till redovisas under avsnitt 5.4.

Sedan inmätta data lästs in kan utvärdering utföras genom programdelarna *Yta* och *Ytterkant*. Om särskild enskild profil skall undersökas separat kan detta utföras i programdel *Tvärprofil*.

- Program *Yta* skapar en grid av utförda mätningar. Gridens storlek kan väljas med önskad storlek, t.ex. 0,5 meter e.dyl. Gridhöjderna interpoleras fram genom sökning av närliggande mätpunkter och beräkning av en medelhöjd.

  Programmet utvärderar buktighet över den hela mätta ytan som täcks av griden, där tolerans specificeras. Normalt används buktighetstoleransen 5 eller 3 mm för mätlängden 2,0 meter. I griden flyttas sedan en rätskiva med den definierade mätlängden i längs X- resp. Y-axeln och registrerar buktigheten vid varje gridpunkt.

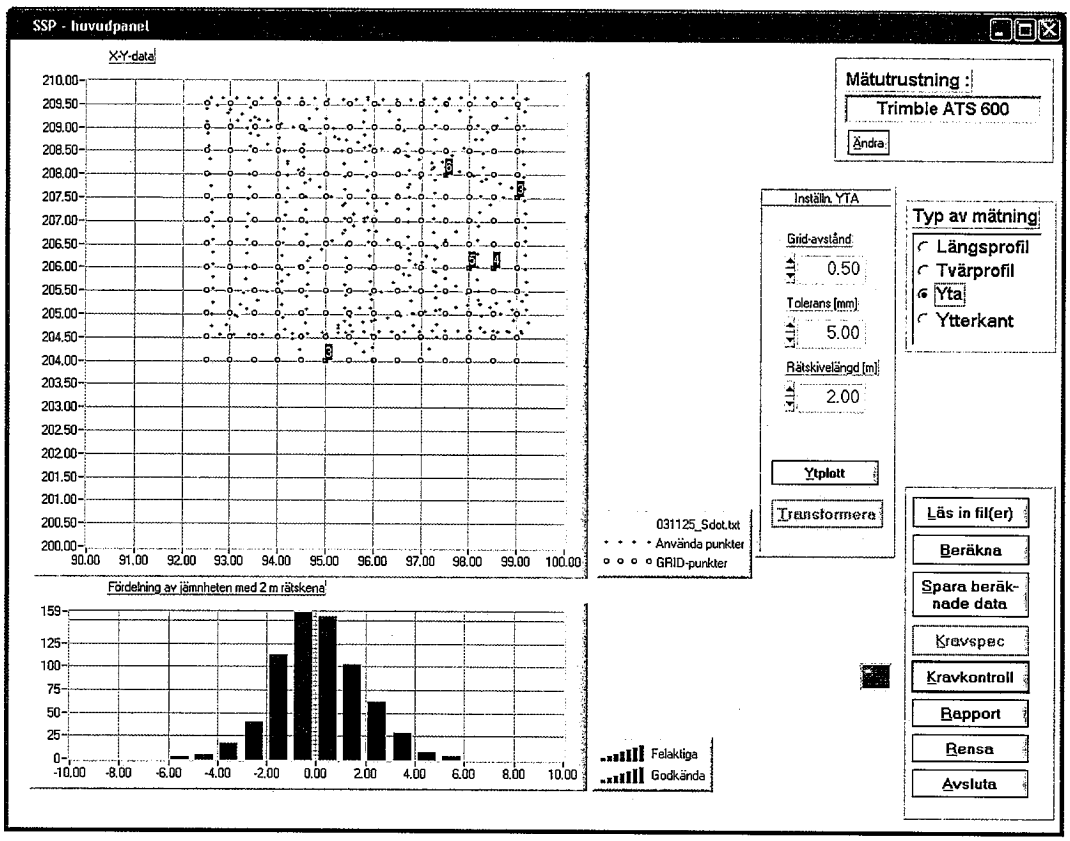
  Utvärderingen av mätningen erhålls genom programdelen *kravkontroll.*

  Nedåtgående buktigheter redovisas med blå färg och uppåtgående buktigheter med röd färg. I resp. överskridelse redovisas antalet registreringar som vid förflyttningen påvisat avvikelsen. Denna redovisning sker på en planbild där överskridelsernas läge redovisas.

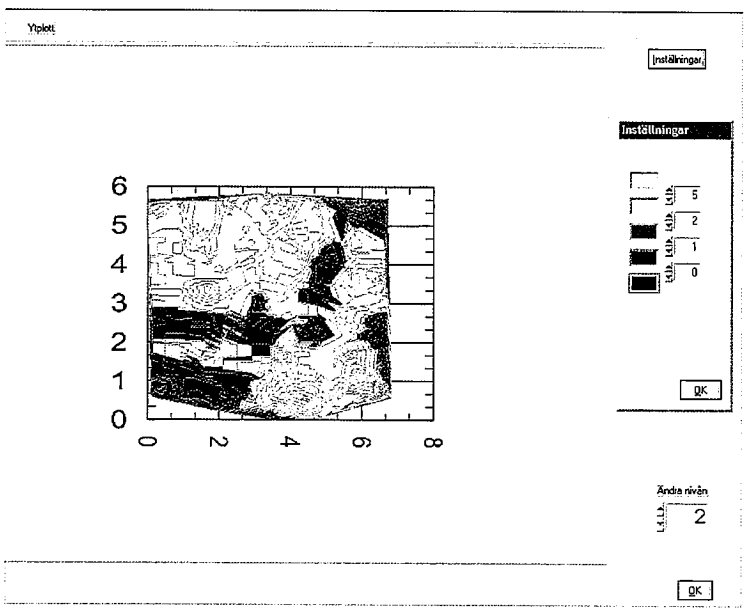
  Programmet redovisar separat fördelningen av avvikelser i ett diagram.

  Utvärderingen av "småbuktigheter" med tolerans 1,2 mm på 0,25 meters mätlängd kräver mycket hög mätnoggrannhet och hög ytjämnhet på en golvyta. Detta krav tangerar den mätnoggrannhet som kan erhållas med metoden. Om utvärdering skall ske bör denna studeras enbart i uppmätta profiler och ej utnyttja gridtillämpningen. Fortsatta undersökningar och tester får påvisa om denna utvärdering är relevant att använda.

I figuren nedan visas exempel på programmets redovisning av en uppmätt golvyta avseende buktighet. Den gula linjen med röda prickar visar mätvagnens mätlinjer resp. registrerade mätpunkter. Mätningen visar 5 överskridanden av buktigheten 5 mm. Avvikelsen i dessa är 1 mm över angiven tolerans, d.v.s. 6 mm enligt diagrammet.



I program *Yta* kan även kan även en "Ytplottning" göras som från griden redovisar ytans nivåer (modell). Nivåskillnaderna redovisas med valt intervall i mm i olika färger. Nivåerna kan representeras från lägsta mätta höjd eller förläggas på högre valfria nivå i mm.



I figuren redovisas högsta nivåerna med gul färg, d.v.s. i intervallet mellan 2 och 5 mm. Röd färg visar intervall mellan 1 och 2 mm.

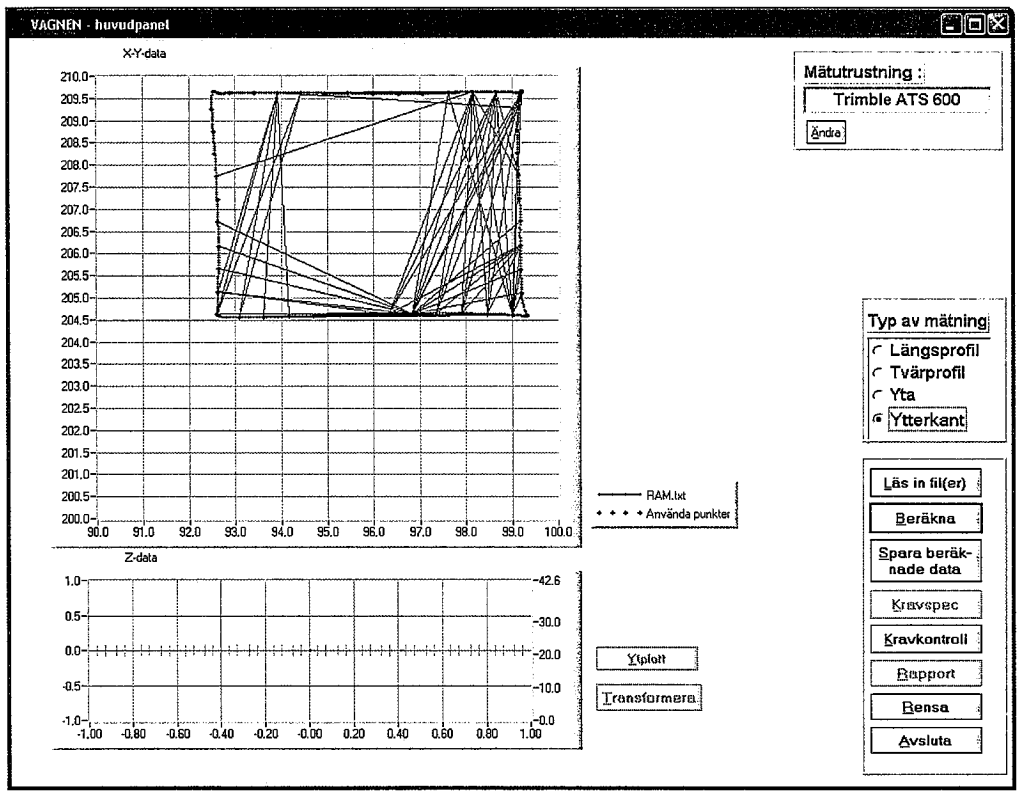
Basnivå har flyttats upp 2 mm enligt nedre rutan, vilket innebär att lägsta ytor ej redovisas. Variationen i ytans höjder erhålls bäst genom att ange 0 i basnivån.

Genom att ange en viss definitiv höjd kan ytor för ev. slipning eller spackling påvisas.

- Program *Ytterkant* beräknar lutningen baserat på mätavståndet mellan mätpunkter som bestämts utmed väggens begränsningslinjer enligt HusAMA. Lutningar baseras på kravet L/600 med nivåerna lägst 8 mm och högst 20 mm.

  Programmet testar alla förekommande lutningar mellan mätpunkterna. Överskridna krav redovisas med röd linje i plottad planfigur. Avvikelserna och deras storlek kan redovisas separat.

  I figuren nedan redovisas utplottning av överskridna krav och mätlinjen utmed väggar samt mätpunkternas läge.



- Program *Tvärprofil* kan användas för att studera enskilda avvikelser i särskilt vald profilläge på ett golv. Detta kan t.ex. användas för att kontrollera mindre ojämnheter eller för att kontrollera golv där lutningar föreskrivits (dock ej i mindre våtutrymmen).

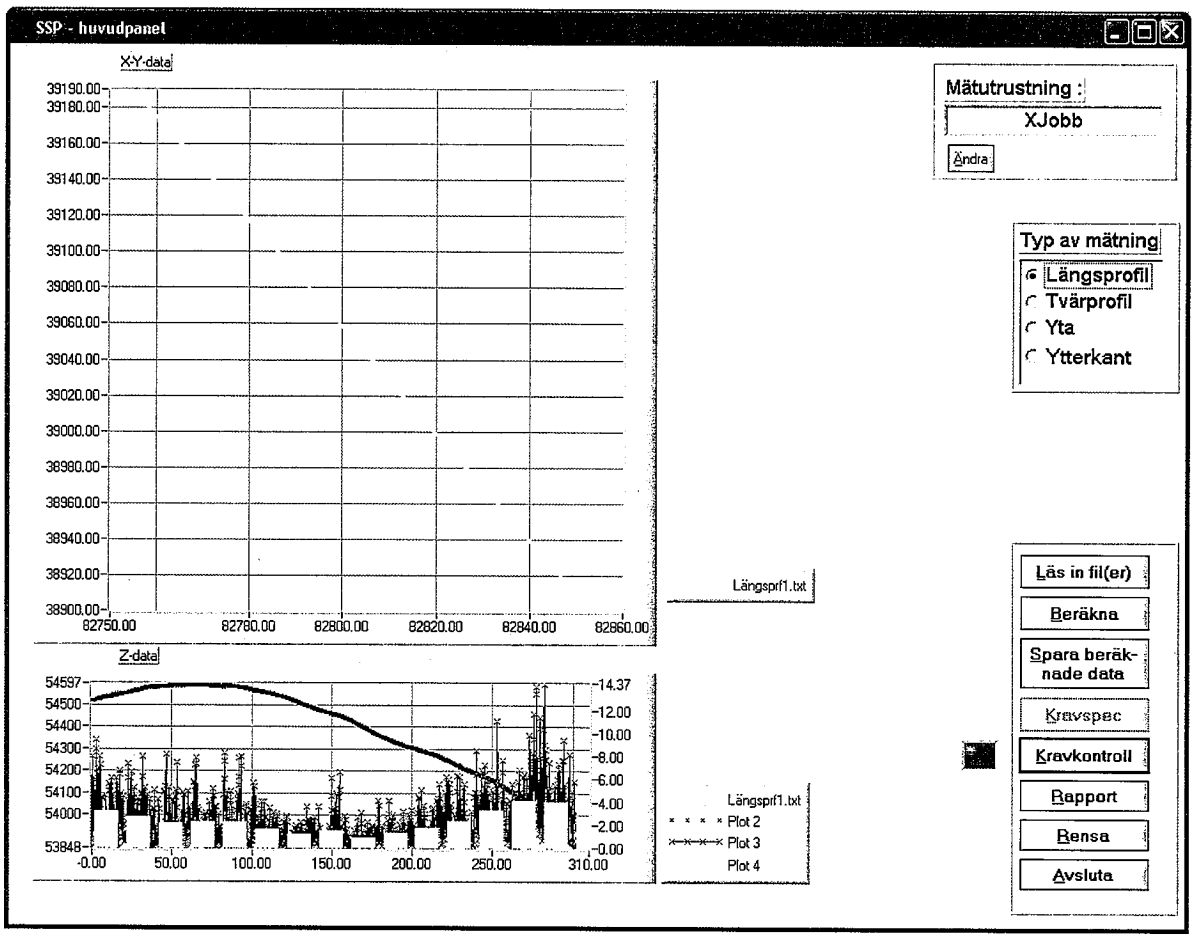
  Programmets redovisning av resultat beskrivs under avsnittet Tillämpningar *för väg*.

❑ Tillämpningar för väg

Utförandet av mätningar för vägar redovisas under avsnitt 5.4.

Sedan inmätta data lästs in kan utvärdering utföras genom programdelarna *Längsprofil* och *Tvärprofil*. Om belagd mindre yta skall undersökas särskilt kan detta utföras i programdel *Yta*, som beskrivits under Tillämpning för hus.

- Program *Längsprofil* används för att bestämma ojämnheter längs en väg och omräkna x-, y- och z-värden till IRI-värde (Ojämnhet i mm/m). Detta värde baseras på våglängdsområdet mellan ca 0,5 – 100 meter. Bestämningen av IRI med mätvagnen kommer att testats vidare, då inte tillräcklig noggrannhet erhållits i jämförelse med mätbilars resultat. Skillnaden beror troligen på att mätningen av mätvagnen ej ger tillräckligt hög noggrannhet i höjd samt att tätare intervall erfordras mellan mätpunkter, d.v.s. förhöjd inmätningshastighet. Tester kommer att kunna ske med annan typ av totalstation som ger högre mätnoggrannhet.



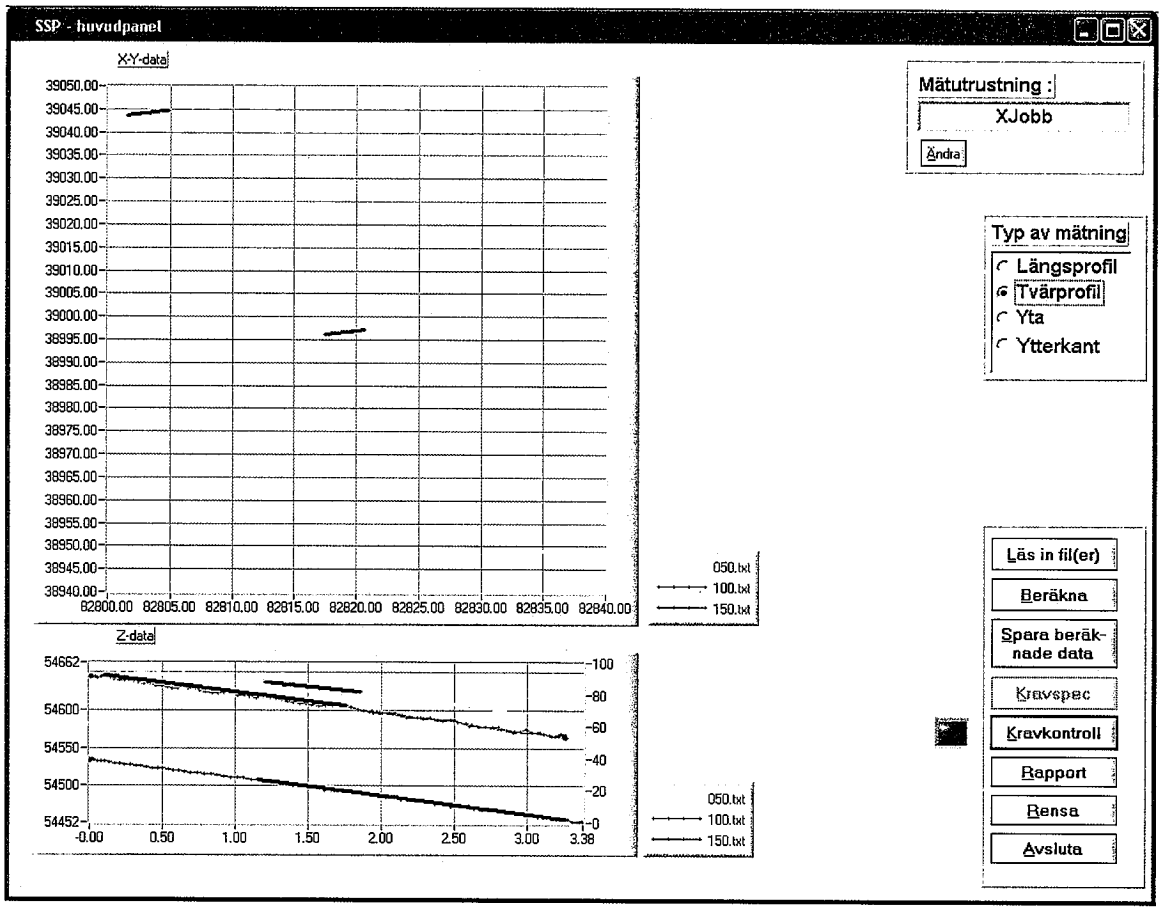
Den övre planbilden redovisar längsprofilens läge i plan (x,y).

I diagrammet nertill redovisas en normal höjdprofil av den blå linjen med höjdskala till vänster i mm (ca 54 meter) och längdskalan nertill i meter (ca 300 meter).

Skalan till höger redovisar IRI-värdet, d.v.s. 0 redovisar helt plan yta och ökad ojämnhet med ökat värde. De gröna värdena avser IRI-värden på 0,25 meters sträckor och de gula staplarna IRI-värden som medeltal av 20-meters sträckor.

Den röda knappen påvisar att IRI-värdet ej är godkänt.

- Program *Tvärprofil* används för mätning tvärs en väg för värdering av ojämnheter (här angivet som spårdjup) och ytans lutning. Programmet används i första hand på belagda ytor som asfalt eller betong. För beräkningen av ojämnheter används "Trådprincipen" som innebär att en linje skapas mellan högst belägna mätpunkter från vilken djupet mäts vinkelrät till lägst belägna punkt (spårdjup max.). Mätning kan också utföras på andra ytor som t.ex. bärlager, för kontroll av lutning.

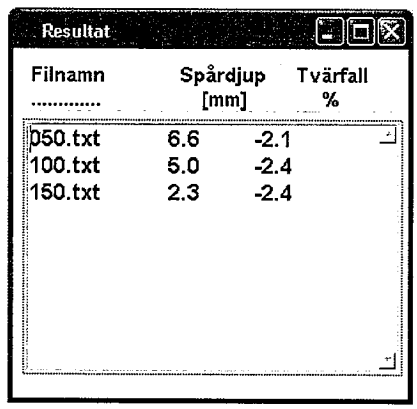


Tvärprofilernas läge redovisas i plan i den övre bilden.

I den undre redovisas tvärprofilerna 050, 100 och 150 som en sektion med mätta punkter samt markeringar i svart som visar trådlinjens läge i de högst belägna punkterna där största djupet i tvärprofilen detekterats.

Tvärfallet bestäms av de yttre punkterna med enkel lutningsberäkning ur avstånd och höjdskillnad. Vid mätning på väg skall tvärprofilen mätas mellan beläggningskant och vägmitt vid bombering och för hela vägen vid full skevning (i kurva).

Den gröna knappen redovisar att kraven innehållits.



Resultat

Filnamn	Spårdjup [mm]	Tvärfall %
050.txt	6.6	-2.1
100.txt	5.0	-2.4
150.txt	2.3	-2.4

Utskrift kan även erhållas där avvikelserna relateras till ställda krav. I fallet nedan visas tvärfallet.

ltat - Kontroll av spårdjup och tvärfallsavvikelse (resultat per profil)

Kravkontroll av spårdjup och tvärfall

1	Filnamn	Spårdjup mm	Avvikelse	OK / FEL	Tvärfall %	Avvikelse	OK / FEL	ANM
	050.txt	6.6			-2.1	0.4		
	100.txt	5.0			-2.4	0.1		
	150.txt	2.3			-2.4	0.1		

❑ Tillämpningar för väg med andra programvaror.

Genom att enbart tillämpa metodiken med totalstation, mätvagn och mäthjul kan andra mätningar utföras. För dessa fall finns i allmänhet existerande program som använder samma form av indata och filer.

En stor användning enligt våra utförda tester avser *nivåmätning på obundna lagerytor* vid vägbyggnad. Mätning skall där utföras på terrass, förstärknings- och bärlager. Nuvarande teknik kräver slumpning och utsättning av enskilda punkter som sedan mäts in. Med denna metodik kan längsgående profiler mätas in av det definierade kontrollobjektet och medelavvikelsen i uppmätta nivåer beräknas jämfört med teoretiska nivåer för punkterna. För denna beräkning krävs att en *anläggningsmodell* i 3D är upprättad över vägen. Jämnheten i vägytan ges av den beräknade standardavvikelsen som också utgör ett krav på ytan.

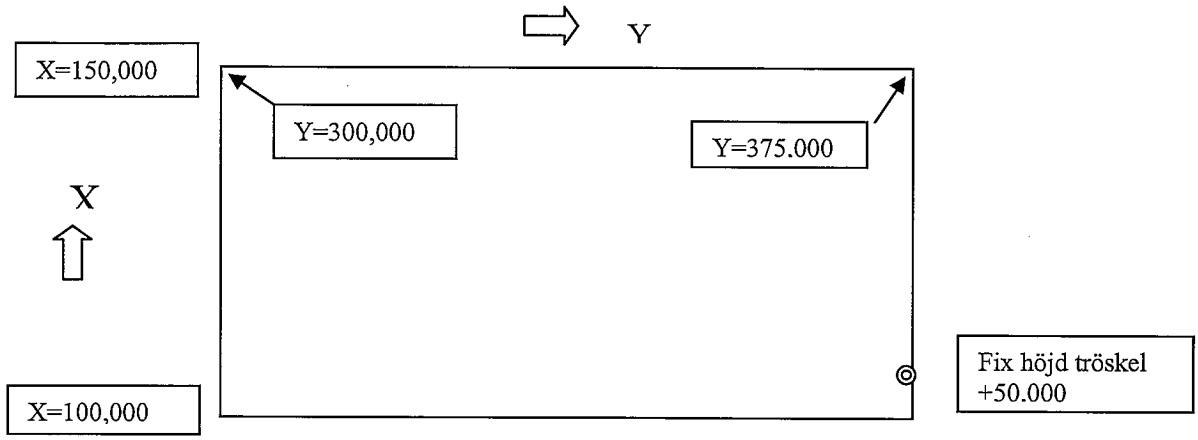
Beräkningen i våra tester har utförts med programvaran GEO som har program för anläggningsmodell och utvärdering av mätningen. Flera andra programvaror har även motsvarande program.

Andra tillämpningar kan vara att mäta

- undre terrass som avser kontroll av bergbankshöjder
- yttäckande mätningar som ligger till grund för att upprätta en ytmodell i 3D och användas för tjockleksbestämning av bundna lager asfalt eller betong. Vid dessa tillämpningar beräknas modeller för underyta mot modeller för överyta och mängder resp. tjockleksmått kan erhållas. Denna tillämpning är även möjlig på motsvarande sätt för golvgjutning.
- tjällyftning i längsprofiler.

5.4 Mätningars utförande, beräkning och redovisning

- Mätning av golv



Vid uppmätning av golv för att bestämma avvikelser för buktighet, lutning och golvets läge i nivå skall mättningen anslutas till fixpunkt som definierat golvets teoretiska plushöjd.

Om enbart buktighet och lutning skall bestämmas kan lokalt väl identifierad utgångspunkt anges med fiktiv höjd, t.ex. tröskel + 50,000 enligt figuren ovan.

För att definiera punkters lägen anges ett lokalt koordinatsystem där resp. axlar X och Y ges olika storhetsvärden. Detta utförs enklast genom att totalstationens uppställningsplats anges t.ex. X=100,000 och Y= 300,000 och en markerad riktpunkt mäts in med horisontellt avstånd och anges som X-axelns riktning. X-koordinaten för denna blir då 100,000 + horisontella avståndet samt Y-värdet 300,000. Dessa punkter skall markeras så att de kan verifiera en kompletterande mätning eller användas för lägesdefinition vid en efterbearbetning av golvet.

Alternativa angivelser kan vara att mäta in golvets hörnpunkter och ange dessa i ett rätvinkligt system tillsammans med stationspunkten och en riktpunkt. Detta kan utföras med en transformation av de initiella koordinaterna enligt ovan och ger ett enklare positionerings-system för att återfinna avvikelser på golvet med mått från golvets avgränsningslinjer.
För objektet ovan har de initiella koordinaterna för station- och riktpunkt transformerats till golvets avgränsande hörn. Om befintligt koordinatsystem är upprättat skall mätningen vanligen ansluta till och redovisas i detta system.

<u>Hur mätningen utförs</u>

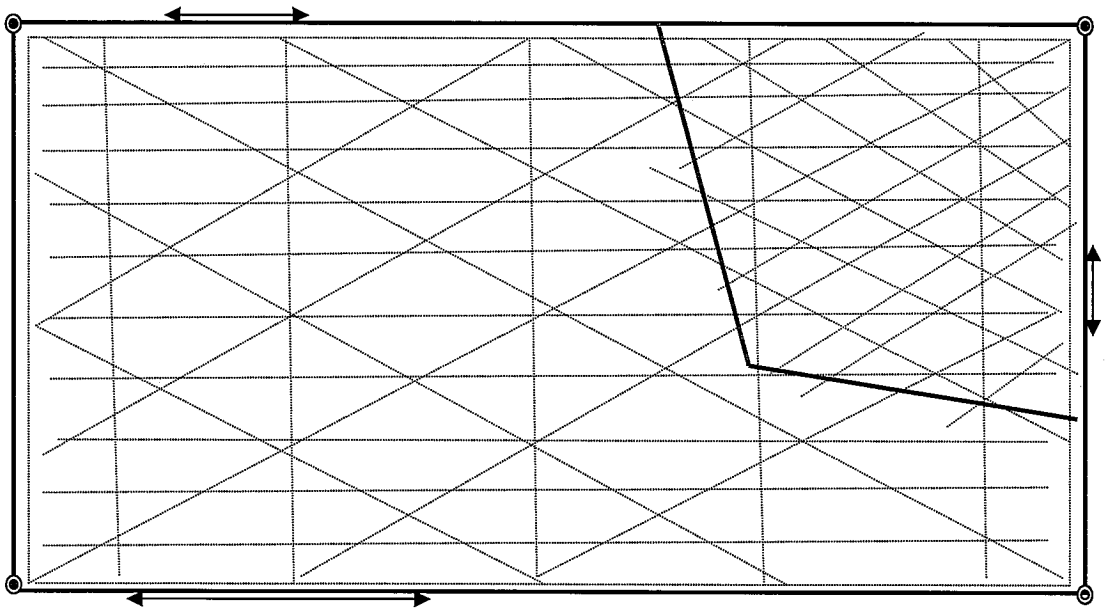
1. Golvet bör vara väl avstädat.
2. Markera stationspunkt för totalstationen – en eller flera – samt riktpunkt. Markera på enkelt sätt med hänsyn till återanvändning av punkter samt så ej bestående skada eller olägenhet uppstår. Välj fixpunkt i höjd, lokal eller ansluten till befintlig fixpunkt.
3. Ange koordinater och höjder enligt beskrivning ovan.
4. Mät in golvets avgränsningspunkter, d.v.s. den yta som skall kontrolleras.
5. Besiktiga golvet för att definiera lokala ojämnheter där mätning behöver förtätas.
6. Utför inmätning genom att först föra mätvagnen utmed golvets begränsningslinjer. Dessa avser att bestämma lutningen mellan rummets begränsningar.

7. Utför mätning av övriga golvet i linjemönster med förtätning där lokala ojämnheter lokaliserats under punkt 5.
8. Genom att mäta korsvis över golvet kan extra bestämningar ske och mätningens noggrannhet kan utvärderas i punkter där mätlinjer skär varandra.

Beroende på den registreringshastighet som totalstationen medger anpassas hastigheten för vagnens framförande efter denna och med vilken täthet mätningar skall ske. Detta kan testas genom ett enkelt prov där mätvagnen framförs med viss hastighet på en längdmätt sträcka och antalet mätningar registreras.

I exemplet nedan redovisas hur mätningar utförts på en golvyta. I figuren redovisas följande:

- Alla linjer inom den heldragna ytterlinjen utgör utförda mätlinjer med vagn.
- Yttre mätlinjen avser mätning för bestämning av lutning. Övriga linjer avser buktighet.
- Tätheten i längsgående linjer är ca 0,4 – 0,7 meter. Tätheten i tvärgående linjer är ca 1,0 – 3,0 meter.
- Linjer har även förlagts diagonalt för att komplettera ytan och bestämma noggrannheten mellan skärningar.
- Inom den avgränsade ytan med röd markering har förtätning skett då ytan var ojämn.
- Pilmarkering i ytterkanter redovisar öppningar av rummet som mätts direkt med totalstationen för värdering av ev. nivåskillnad (språng). Alternativt kan detta också mätas med mätvagnen.



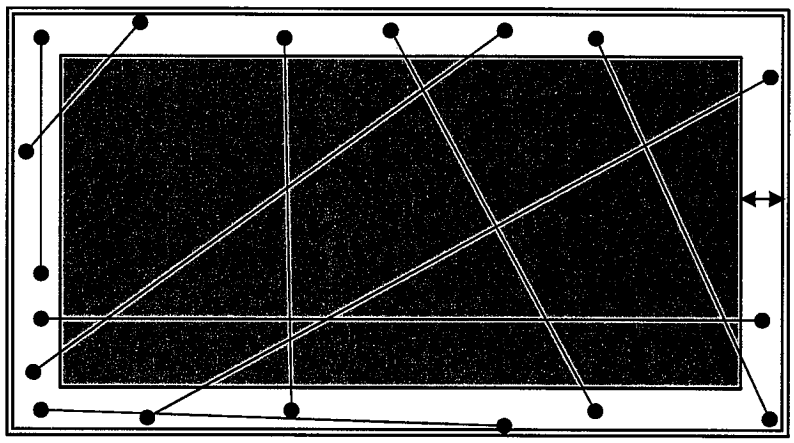
- Data från mätningen:
Golvets yta ca 7 × 12 meter.
Totalstationens kapacitet 8 punkter/sekund.
Total tidsåtgång inkl. definiera utgångspunkter, markering, besiktning och mätning totalt 2 timmar.
Antalet registrerade mätpunkter 3370. Detta ger ca 40 mätpunkter / m², sett över hela golvytan.

Figuren ovan visar hur mätningen (i linjer) skulle kunna se ut för ett golv. Om en dator tas med vid mätningen kan ojämnheter studeras på plats som t.ex. medför att komplettering sker i område som uppvisar markanta ojämnheter, t.ex. inlagd yta som i figuren ovan.

Utvärdering av mätning

Lutning

Lutning definieras av höjdskillnad mellan två punkter som ligger invid väggar. Dock kan i särskilda fall detta vara bortskrivet i bygghandling och lutning kan mätas var som helst.



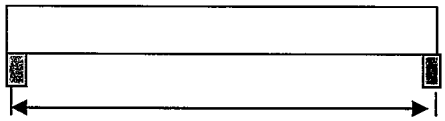
Ca 0,3 meter där mätpunkt kan läggas för lutningskontroll

Ovan visas exempel på hur lutning kan bestämmas av två punkter, dvs. med alla möjliga kombinationer. Enklast sker test genom att söka högsta och lägsta höjder. Eftersom kravet är längdberoende så söks punkter med känt planläge

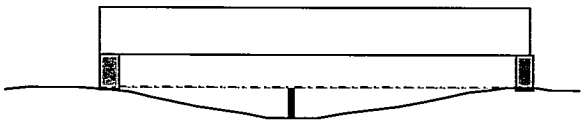
Buktighet – 2,0 meters mätlängd

Buktighet definieras enligt figurer nedan (med en rätskiva 2,0 eller 0,25 meter)
Rätskivan skall kunna placeras var som helst på golvytan, dvs. kunna söka upp största avvikelse.

Rätskiva 2,0 eller 0,25 meter



Buktighet –värde (negativt)

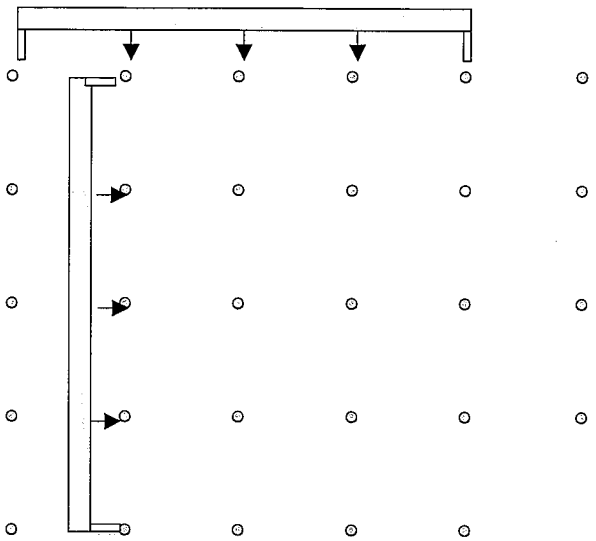


Buktighet + värde

För att utvärdera och beräkna buktigheter omvandlas mätdata till ett gitternät (rutnät) över golvet med valfri storlek. Rutnätet kan t.ex. väljas till 0,25 eller 0,5 meter. Höjderna i gitterpunkterna interpoleras fram från närliggande mätta höjdpunkter som söks inom ytan 2 x 2 meter där gitterpunkten är centralt placerad inom ytan.

Bestämning av buktigheten görs genom att en i programmet upprättad teoretisk rätskiva flyttas steg för steg i rutnätet och mellanliggande rutnätspunkters avvikelse registreras. Förflyttning sker både längs och tvärs i rutnätet enligt figur nedan.

Förflyttningar i rutnät (vid 0,5 meters rutor) med 2,0 meters rätskiva.



För varje förflyttning, horisontellt och vertikal, beräknas buktigheten. Alla tester räknas (antal) och ritas i diagram. Överskridanden redovisas till storlek, läge och i % av antalet. Max. värdet redovisas särskilt.

Buktighet 0,25 meter

Denna buktighet kräver att mätning utförs väldigt tätt och med mycket hög mätnoggrannhet. Därför föreslås att enbart indikationer på toleransöverskridanden utläses ur mätvärden eller att den okulära besiktningen anvisar mätning med tolk eller mätklocka.

Förslagsvis utförs mätning och utvärdering av indikationer enligt nedan.

- Interpolera fram nivåer längs resp. mätt profil med 0,125 meter avstånd. Detta innebär att ett värde på varje förflyttning längs profilen på rätskenans mitt erhålls. Detta kan vara första testet.
- Om t.ex. mätningar läses in (normalmätning) så kan en nivåkurvdel tas ut som visar var största ojämnheter + toppar och bottnar finns. Ytorna avgränsas och kompletteringsmäts med tätare profiler. I dessa ytor kan ett finmaskigt rutnät interpoleras (0,125 m) och tester kan ske separat i dessa enligt modell som beskrivits för buktighet 2,0 meter ovan.

Utvecklat dataprogram har ej separat behandlat hanteringen av 0,25 meters mätlängd med den snäva toleransen ± 1,2 mm.

Läge i nivå

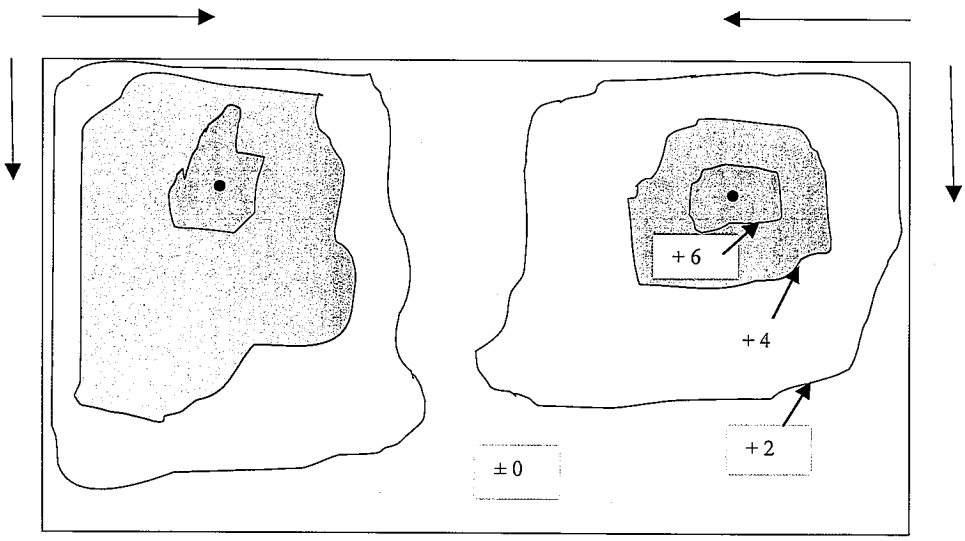
Avser läge i höjd relativt en angiven plushöjd (nivå).
Normal tolerans för denna är enligt HusAMA ± 20 mm.

Kontrolleras enklast genom direkt jämförelse med mätta höjder och skrivs ut med maxavvikelser och dess läge.

Utvärdering av golvnivåer kan ske genom att nivåkurvor med valt intervall redovisas enligt framställt dataprogram. Ur detta kan max- och minnivå på golvets höjder redovisas gentemot angiven golvnivå inkl. toleransvärdena.

Genom att fram underlaget i programsystem GEO kan golvet undersökas mer generellt och triangelmodell i 3D kan upprättas. Genom att ansätta olika nivåer för justering kan ytor avseende spackling eller slipning, om detta erfordras, studeras. Om ytterliggare lager av material skall anbringas ytan för flerskiktsgolv av massor kan förnyad mätning utföras och mängden beräknas ur resp. modeller.

Schematiskt redovisas nivåkurvor nedan med 2 mm:s ekvidistans. Högpunkterna är markerade med svarta punkter. Golvet har en nivåvariation inom ca 8 mm.

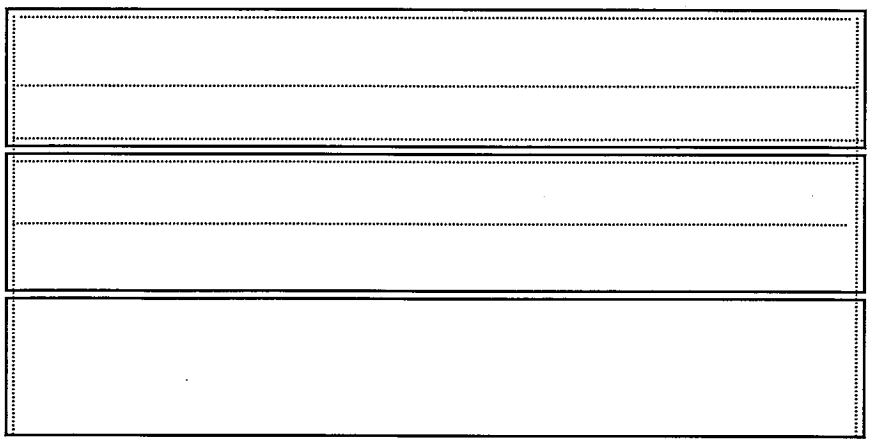


❑ Mätning av prefabricerade bjälklagselement

Nedan visas exempel på mätning av prefabricerade bjälklagselement. Mätningen sker i tre längsprofiler på varje element, vid ytterkanterna och mitten. Golvytans begränsning mäts enligt anvisningar för golv.

Mätning utförs med det större mäthjulet.

För databeräkning och hantering används program typ GEO. Särskilt program för denna tillämpning har ej utvecklats.



ANM. Element som har olika storlek skall separeras avseende kontroll av tolerans för överhöjning.

- *Bestämning av överhöjning*

Vid spännarmerade element erhåller dessa en buktad yta (högst på mitten). För varje element beräknas överhöjningen som ett medelvärde av de tre profilerna – kant, mitt och kant. Beräkningen görs på motsvarande sätt som för buktighet. Enbart högsta uppmätta höjden används.

Medelvärdet av elementen – med samma storlek – beräknas.

Toleransen – normalt ± 12 mm för TT-plattor och ± 10 mm för HD-plattor - definieras av det beräknade medelvärdet (alla element av samma storlek). Varje enskilt elements medelvärde jämförs med det totala medelvärdet och listas. Se exemplet nedan:

Exempel:

4 element HD-plattor har mätts enligt ovan med följande resultat på överhöjning i mm.

Element nr	Kant vänster	Mitt	Kant höger	Medelvärde
A1	35	38	34	36
A2	37	41	40	39
A3	28	27	26	27
A4	31	34	26	30

- Medelvärdet för de 4 elementen = 33
- Toleransgränserna blir då 33 ± 10 mm = 43 –23 som godkänt spann.

Alla elementen har klarat toleranskraven (Medelvärdet för resp. jämförs med spannet)

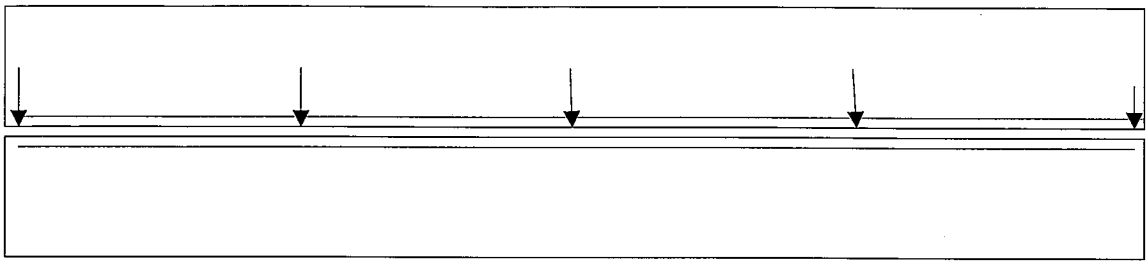
Vid denna beräkning/utvärdering bör högsta resp. lägsta höjd visas upp samt var de är belägna.

- *Bestämning av språng (höjdskillnad mellan närliggande element)*

Detta är ett krav som gäller undersidor av element, dvs. för hantering av tak under bjälklaget.

Det kan dock vara av intresse att visa sprången mellan närliggande elements kanter.

Lämpligen visas sprången enligt figur nedan – som höjdskillnad mellan plattornas kanter.

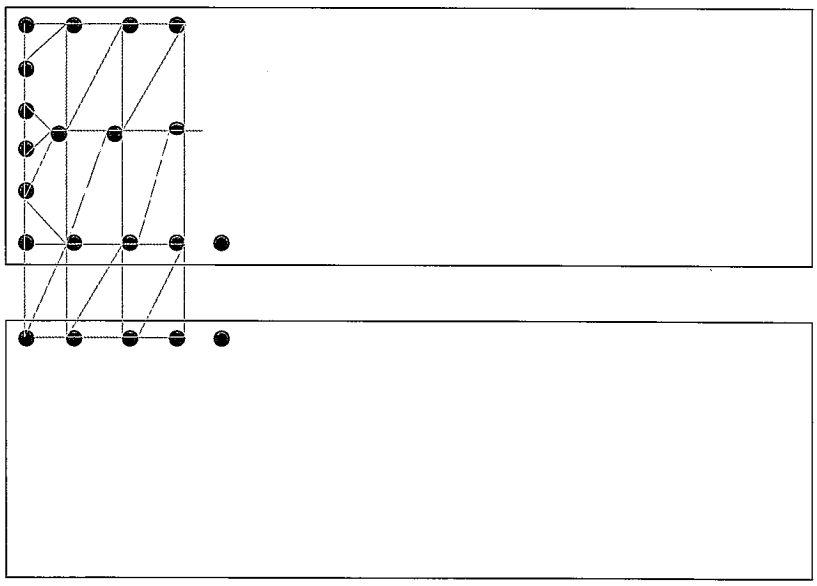


Sprången (eg. fogsprång) redovisas vid ändar, på fjärdedelen och på mitten. Språnget har inget tecken.

- *DTM (terrängmodell) över ytan*

Modellen, som kan baseras på trianglar eller rutnät, skall ge underlag för att beräkna mängden av ovanpåliggande skikt som kan vara spackel, pågjutning av betong eller särskild massa. Beräkning görs genom att beräkna till en bestämd +höjd eller att beräkna mot modell baserad på mätning av överytan. Av särskild vikt är att få en bra modell mellan plattornas kanter. Vid triangelmodell skall ej skärande linjer finnas från mätningen, dvs. att kantmätningen på grund av snedhet i mäthjulet placeras över närliggande kantlinje. Nedan visa exempel på hur triangelmodell kan se ut på ett underlag. Obs att fogen mellan plattorna har gjorts extra bred för åskådning.

Exempel: Schematisk visning av interpolerad modell mellan bjälklagsplattor.



Röda punkter avser enskilda mätpunkter längs mätprofilerna. (Som bör placeras på plattornas kant – så bra som möjligt)

◻ Mätning på vägar

Vid mätning av vägar kan dessa avse bundna eller obundna lagers ytor. Mätningen kan avse framför allt nivåkontroll på obundna lager som terrass, förstärknings- och bärlager. Som komplement till nivåer kan även ytans bombering/lutning bestämmas.

För bundna lager som asfalt eller betongbeläggningar gäller i första hand att bestämma dess jämnhet längs- och tvärs vägen och tvärfallet.

All mätning på vägar skall relateras till deras sektionsindelning och aktuellt koordinat- och höjdsystem. Vid mätning skall etablerade och av beställaren eller entreprenören anvisade utgångspunkter i plan och höjd användas.

Jämnhet längs vägen (IRI) och längsprofil.

Tester har gjorts med att mäta längsprofil och genom denna bestämma IRI-värdet som ett jämnhetsmått längs vägen (vägens vertikala ojämnhet i enheten mm/meter). Längsprofilen avser att från nivåer utmed linjen utföra våglängdsanalys av våglängder i intervallet 0,5 till 100 meter. Från längsprofilen beräknas sedan IRI-måttet.

Det utvecklade programmet har möjlighet att beräkna IRI-värden för mätning. Vid tester med mätvagnen gjordes jämförande mätningar med mätbil och senare med Primal, laserstyrd längsprofilmätare med 250 mätningar/10 meter med upplösning på ca 0,1-0,2 mm. Testerna visade att mätvagnen klarade våglängdsområdet 5 – 100 meter. Området 0,5 – 5 meter orsakade brus och osäkra värden. Detta intervall kan anses väldigt viktigt vid beräkning av IRI och det kunde konstateras att mätningen borde vara tätare och utföras med högre noggrannhet för att vara användbara. Eventuella försök kan komma att ske med särskild totalstation och prisma som arbetar med bättre noggrannhet och låsning på prismat.

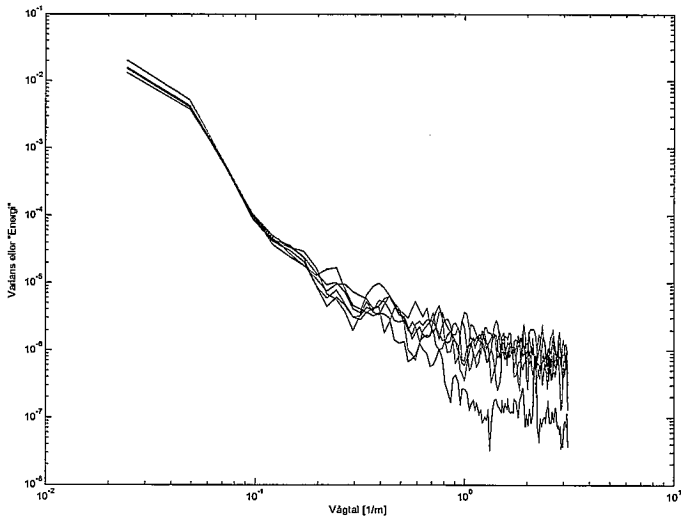
På figuren nedan redovisas våglängdsundersökning av längsprofilen och bruset vid de kortare våglängderna.

- Jämförelse mellan "Mätvagnen" och referensmätning.

Beräkning PSD (Power Spectral Density) för de fem mätningarna gjorda med Mätvagnen, samt för referensmätningen (Primalen + Totalstation). De fem blåa linjerna i diagrammet nedan visar hur mycket längsprofilen varierar per våglängd för de fem mätningarna med Mätvagnen. Den svarta linjen kommer från referensmätningen. Från detta kan man dra slutsatsen att profilerna från Mätvagnen blir betydligt brusigare än motsvarande referensprofil, vilket får stora effekter för de korta våglängderna. Från diagrammet kan man säga att profilen från Mätvagnen är korrekt (eller snarare användbar) ned till c:a fem meters våglängd, men kortare våglängder än så blir väldigt påverkade av bruset.

Mätning av längsprofil / IRI utförs vid användning av mätbil i bilens högra hjulspår. Vid nyanlagd väg utan ojämnheter eller spårbildning centreras bilen i körfältet. Vid förekomst av spårbildning skall mätning ske i höger hjulspår på vägen, d.v.s. följa detta.

Enligt Vägverkets krav i ATB Väg anges alternativet att mäta ojämnheter längs vägen med 3-meters rätskiva. Denna metodik har ej provats och skulle vara möjlig att utveckla genom att förflytta och testa mätpunkter på motsvarande sätt som gjorts med buktighet för golv.



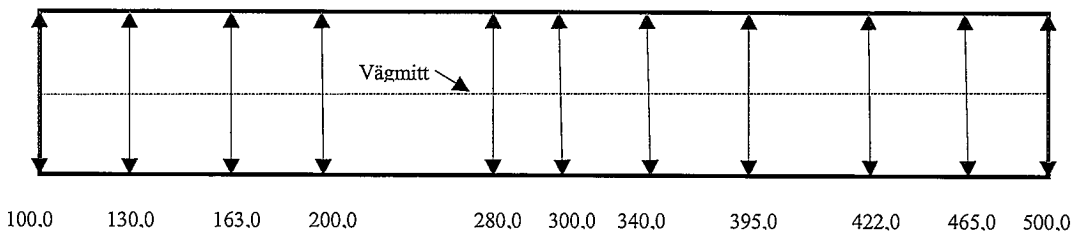
Ojämnheter tvärs vägen – spårdjup

Mätning av ojämnheter tvärs vägen kan avse nybyggnad eller ny beläggning ofta i samband med förstärkningsarbeten. Normalt mäts dessa vid trafikpåsläpp med mätbil med minst 17 lasrar på en mätbalk med bredd minst 3,2 meter (VVMB 116). Alternativt mätutförande kan vara rätskena med 3 meters längd som placeras slumpvis inom körfältet enligt en färdigslumpad modell i Vägverkets metodbeskrivning VVMB 107. För en vägsträcka av 400 meters längd eller körfält med 800 meters längd mäts normalt 15 stycken stickprov.

För mätbilen används den s.k. trådprincipen där en virtuell tråd spänns mellan de högst belägna punkterna i tvärprofilen. Från denna tråd mäts största avvikelsen vinkelrät till lägst mätta belägna punkt. Vanligen redovisas största avvikelsen som ofta benämns "Spårdjup max" vid mätning på det befintliga vägnätet. Vid mätning av nyanlagd beläggning är spårdjup max = största erhållna ojämnhet, eftersom spårbildning ej antas förekomma.

Vid mätning med den utvecklade metoden skall normalt mätvagnen användas. Mätning kan utföras enligt den utförda slumpningen som redovisas i VVMB 107 eller enligt särskild överenskommelse med beställaren. I exemplet nedan redovisas hur mätning utförts baserade på slumpning samt i några fall där avvikelser upptäckts okulärt. Mätning har skett av resp. körfält som enskilt objekt i pilens riktning. Mätning innefattar även bestämning av körfältets tvärfall som redovisas under separat rubrik nedan.

Vid mätningen framförs mätvagnen så att mätning sker med ca 0,1 meters intervall.
Exempel: Schematisk visning av: Profiler för tvärfall och ojämnheter i tvärledled



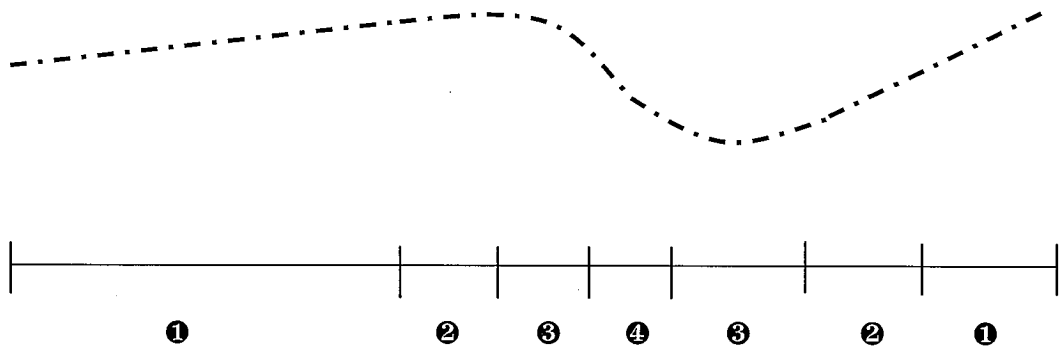
Bestämning av tvärfall

Mätning och bestämning av tvärfallet (lutning) utförs samtidigt som ojämnheter i tvärled mäts. I det utvecklade programmet beräknas lutningen mellan de två yttre punkterna och dess avstånd. Metoden motsvarar den som används med en 3 meters rätskiva enligt metodbeskrivningen VVMB 107.

Mätningen skall också värderas avseende dess läge i plan och vägens linjeföring. Vid rak väg är vägen bomberad med normal sidolutning 2,5 %. Innan en kurva skall bomberingen på en övergångssträcka justeras till normalt 3 % skevning vid kurvans början. Det bör observeras att andra lutningar kan vara föreskrivna.

Kravet på tvärfallsavvikelse utgörs dels av en avvikelse från riktvärdet samt en beräknad standardavvikelse för mätningars variation. Beräkning och utvärdering beskrivs närmare i VVMB 107 och VVMB 908.

På figuren nedan (planskiss x,y) redovisas hur tvärfallet kan vara uppbyggt för en väg.



❶ Vägen ligger i raklinje med bombering 2,5 %.
❷ Övergångsträcka där vägens bombering successivt skall ändras mot skevning 3 %.
❸ Kurva med full skevning.
❹ Övergångssträcka där skevning successivt vänds till 3 % i andra riktningen.

Nivåmätning av obundna lager

Vägverket ställer krav på nivåer för lagerytorna terrass, förstärkning och bärlager. Kraven gäller utifrån i bygghandlingarna angivna teoretiska värden. Mätning skall utföras med metod som har en noggrannhet (standardavvikelse) inom 3-4 mm i höjd. Normalt slumpas enskilda punkter ut med antal enligt ytstorlekarna

$\leq$ 200 m²	$n \geq 16$
201 – 1200 m²	$n \geq 24$
1201 – 2500 m²	$n \geq 32$

Krav specificeras på samplets medelavvikelse, standardavvikelse samt förekomst av grova fel som undersöks främst okulärt och i förekommande fall mäts separat.

Vägverket anger att alternativ metodik kan användas om den godkänns av beställaren.

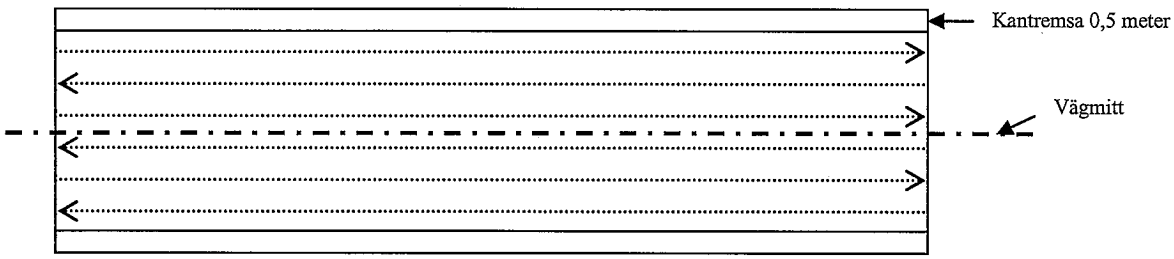
Denna avser yttäckande mätning där önskemålet är att erhålla en mätpunkt per m².

Med nyttjande av projektets metodik kan profilmätning ske i linjer (längsgående) inom den aktuella ytan. Mätning utförs i första hand med framtaget mäthjul och eventuellt på bärlagerytan med mätvagn. Mätning skall utgå ifrån projektets utgångspunkter i plan och höjd. Vid mätningen undantas 0,5 meter av de yttersta delarna av krönbreddens båda sidor.

Mätning kan t.ex. utföras enligt nedanstående figur i 6 längsgående profiler.

Om vägytan nedan 150 meter lång och tätheten i punktregistreringen sker med 0,2 meters intervall erhålls 4500 mätningar.

Vid tester som utförts i projektet har motsvarande mätning utförts med 7 längsgående profiler. Vid utvärderingen kunde reducering av mellanliggande profiler göras ned till 3 stycken utan att medel- och standardavvikelsen förändrades.



Bestämning av tvärfall

Tvärfallsmätning kan vara aktuell för obundna lagerytor, rent generellt, för att kontrollera underlagets lutningar inför beläggningar.

Vägverket anger särskilt krav på översta obundna lagerytan vid bärighetsförbättring och underhåll. Mätning utförs då enligt tvärfallsmätning beskriven ovan under bundna lager. Beroende på ytans struktur kan mäthjul eller mätvagnen användas. Underlaget bör hamna inom riktvärdet ± 0,8 % för angiven lutning och grovt fel anges vid > 1,2 % lutningsförändring.

Bestämning av tjocklek på lageryta – bundna och obundna material

Krav på lagerytors tjocklek avser främst bundna lager. Normal teknik innebär att provplatser slumpas ut och borrprover tas där lagertjockleken mäts med skjutmått. Vid bärighetsförbättring och underhåll, där ej anläggningsmodell finns upprättad, gäller tjocklekskrav utförd som endera

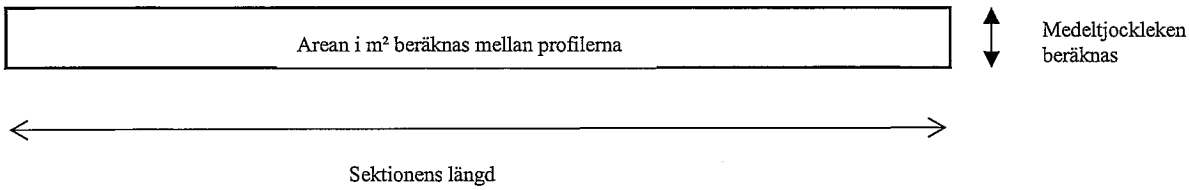
- avvägning i sektioner per 20 meter eller minst 15 sektioner per 2500 m² lageryta
- utslumpade provgropar minst 8 stycken för lagerytas storlek enligt ovan.

Lagertjockleken mäts för skyddslager, förstärkningslager och bärlager. Mätning sker före åtgärd och efter packning av det nya materialet. Kraven på tjocklek ligger i intervallen minus 20-30 mm avseende nominell tjocklek som reduceras med provets standardavvikelse. Grovt fel i enskild provpunkt ligger vid minus 40 – 50 mm.

Mätning kan utföras med mäthjulet på grövre strukturyta och mätvagn där jämnheten är god.

Mätning utförs med metodiken motsvarande avvägning enligt ATB Väg i slumpade eller utvalda tvärprofiler. Alternativt kan längsprofiler användas på motsvarande sätt som vid nivåmätning.

Mätningen skall utföras på noggrant utsatta linjer markerade med t.ex. snöre eller med linjelaser. Mätning görs före materialpåföring och efter att det nya materialet packats. Medeltjockleken kan beräknas per sektion genom jämförelse av de mätta profilerna och areabestämning av skillnaden. Med känt längdmått för mätningen kan medeltjockleken beräknas enligt figuren nedan.



A = Arean i m² / sektionens längd i meter.
A erhålls i meter.

Största avvikelserna registreras och jämförs med krav på grovt fel (Gf).

Motsvarande metodik kan användas med mätvagn på bundna lager och i de fall där översta lagerytan utgörs av betong.

Genom noggrann och väl utförd mätning kan även ovan angiven metodik användas för att mängdberäkna totala lagermassor. Beräkning kan då ske genom sektionsmängdning eller att under- resp. överytan beskrivs i 3D-modell.

Bestämning av tjällyftning

Vid nyproduktion av belagd väg skall konstruktionen vara så utförd att vägbanans tjällyftning inte överstiger vissa värden. Dessa värden är dels beroende av klimatzon och dels tillåten hastighet. För referenshastigheten VR 110 km/h i zon 1-2 gäller 20 mm, vid VR 90 km/h gäller 80 mm och VR 50 km/h eller lägre gäller 160 mm. För styva överbyggnader gäller 20 mm för motorväg i klimatzon 1-2 och övriga vägar 50 mm. Vid bärighetsförbättring eller underhåll gäller något högre värden.

Tjällyftning verifieras med beräkning enligt VVMB 301. Beräkning utförs i särskilt program PMS Objekt, där ett flertal parametervärden ingår avseende klimat, undergrund och konstruktionens uppbyggnad.

Mätning av tjällyftning kan utföras i längsprofiler eller tvärprofiler enligt metodik som beskrivits ovan. Mätning kan utföras med mätvagn eller mäthjul. Mätning skall utgå från utgångspunkter som kontrollerats och som använts vid den initiella mätningen d.v.s. vid trafikpåsläpp eller efter utförd bärighetsförbättring. Denna mätning skall vara väl definierad och dokumenterad.

Mätning för att bestämma tjällyftning skall utföras i samma lägen som den initiella mätningen. Mätning skall utföras under period då marken är tjälad. Jämförelse skall ske mellan initiell mätning och den efterföljande kontrollmätningen och ej mot teoretiska värden på nivåer.

Kontroll av undre terrass

Vid vägkonstruktion som byggs upp med bergbank skall markytan under banken höjdbestämmas. Enligt de riktlinjer som ges skall bestämning ske i tre punkter per sektion belägna under resp. krönkant och vägmitt. Mätningen avser att bestämma bergbankens dimension.

Mätning kan utföras med mäthjulet i profiler längs vägen som representerar dessa punkter. Mätningarna jämförs med motsvarande profiler eller nivåmätning på bergbankens överyta (terrass).

5.5 Mätmetodens noggrannhet

Noggrannheten i mätning med den utvecklade tekniken beror på följande faktorer:

- Mätnoggrannheten för totalstationens del avseende vinkel- och längdmätning samt den automatiska låsningen på prismat.
- Kalibrering av vissa totalstationer för mätområden (avståndskalibrering).
- Bestämning av signalhöjd – avståndet mellan prismats centrum och mäthjulets underkant.
- Påverkan av refraktion – främst vid längre avstånd mellan totalstation och mätdonet.
- Vid anknytning av mätningar till kända utgångspunkter – bestämning av totalstationens höjd i kikarcentrum.
- Mätobjektets egen jämnhet och "löst material på ytan", d.v.s. ytans eget utseende där ett mindre mäthjul (mätvagnen) tar upp små ojämnheter och mäthjulet, med sin större hjuldiameter, ej påverkas i samma grad.

Redovisade noggrannheter är angivna som standardavvikelser, d.v.s. ett mått på repeterbarheten med 68 % sannolikhet.

Mätning med mätvagn upp till ca 30 meter.

- *Denna mätning kan sägas representera mätnoggrannheten – uttryckt som en standardavvikelse – för bestämning av golvytor.*

Mätningen utfördes inomhus på en mycket jämnslipad golvyta. Den mätta linjen var markerad med tejp så att läget vid resp. mätning kunde utföras med max någon cm:s avvikelse i sida. Totalstationen var ej ansluten till yttre höjd som skulle påverka undersökningen. Instrumentet vara kalibrerat för korta avstånd. Mätningen påverkades ej av yttre förhållanden.

Mätning utfördes med 5 repetitioner av en sträcka på ca 10 meters längd. Totalstationen var placerad ca 10 meter från sträckans ändpunkt. Mätregistreringen har varit ca 8 punkter / sekund. Resultatet har ansetts representativt för upp till ca 30 meters mätavstånd.

Vid mätningen har vagnen framförts med viss variation av hastigheten, vilket innebär att mätpunkter ej erhållits på samma lägen längs linjen. Dessa har före utvärderingen passats in (matchning) till vissa lägen och höjden har interpolerats fram mellan närmast belägna höjder. På den ca 10 meter långa sträckan har 97 punkter bestämts för varje profil, på varje dm. Som utgångshöjd valdes + 10,00 i totalstationen.

Resultatet, som redovisas i tabellen nedan, påvisar mycket god noggrannhet.

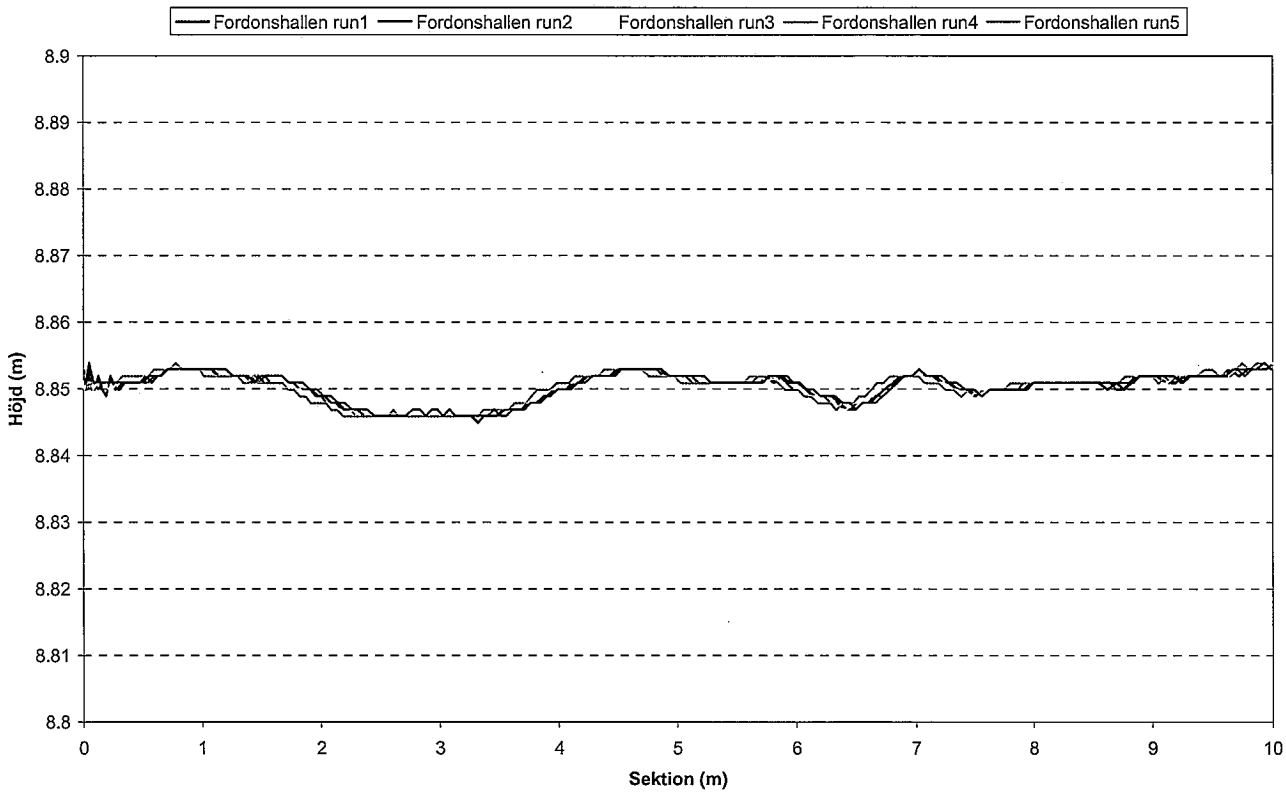
Standardavvikelsen (68 %) för de 5 mätningarna ligger på 0,2 mm. För 95 % (2 sigma) av utfallet erhålls 0,7 mm. Största maximala skillnaden mellan alla punkter är 3 mm.

Totalstation XX			
	Medel	Std av 5	Max avv. Av 5
Medel	8.8503	0.0004	0.0008
Std	0.0021	0.0002	0.0006
Antal	97.0000	97.0000	97.0000
Min	8.8459	0.0000	0.0000
1%	8.8460	0.0000	0.0000
2.50%	8.8460	0.0000	0.0000
5%	8.8461	0.0000	0.0000
10%	8.8463	0.0000	0.0000
25%	8.8491	0.0002	0.0004
Median	8.8510	0.0004	0.0010
75%	8.8517	0.0005	0.0011
90%	8.8524	0.0006	0.0017
95%	8.8529	0.0007	0.0018
97.50%	8.8530	0.0008	0.0019
99%	8.8530	0.0008	0.0022
Max	8.8530	0.0012	0.0030

Test utfördes även med annat fabrikat på totalstation än den här redovisade. Mäthastigheten med denna var maximalt ca 2 mätningar i sekunden och medförde därför något sämre värden, troligen till stor del på grund av längre avstånd vid interpolation och matchning.

Test utfördes ej här med det större mäthjulet, då det ej normalt används för mätning av golvytor.

Nedanstående figur redovisar profil över golvytan. Höjden på golvets yta varierar inom ca 10 mm. De 5 mätta profilerna redovisas. Profilerna redovisas här innan interpolering (matchning) vilket kan ses av förskjutningarna mellan främst mätning 3 (Run 3) och övriga.



Bestämning av mätnoggrannhet upp till ca 150 meters mätavstånd

- *Denna bestämning avser mätning utomhus och skall värderas mot att underlagsytorna har varierande jämnhet som ger ett "tillskott" till värderingen av noggrannheten.*

Mätningen avser belagda (asfalterade ytor) på befintliga vägar samt nybelagd väg. I de flesta fall har ytan varit ganska grovt strukturerad och innehåller ojämnheter. Vid den repeterade mätningen har variationen vid framförandet av mätvagnen och mäthjulet legat inom ca ± 5 cm i plan, vilket också påverkat resultatet där ytan varit ojämn.

- *Mätning på nybelagd väg med mätvagn*

Mätning har utförts med repetition 2-3 gånger av tvärprofiler. Vid mätningen var det starkt solsken och mätvagnens prisma var lågt placerat. Vid mätning på längre avstånd antas därför en viss inverkan av refraktion.

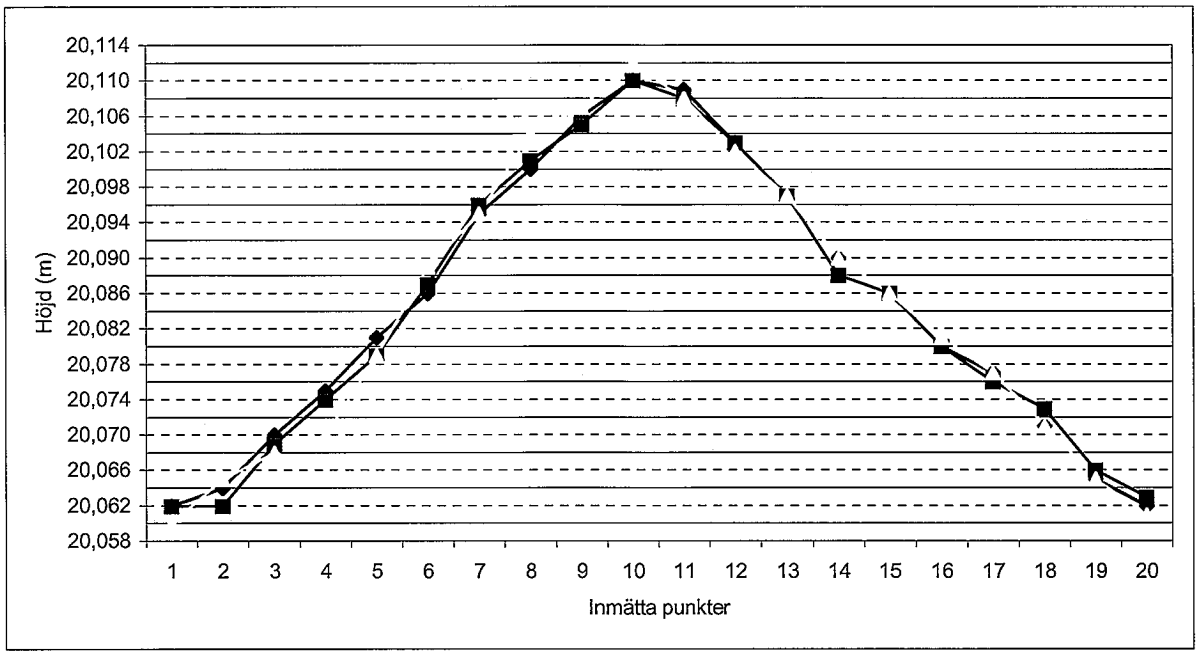
Totalstationen har varit placerad bredvid sektion 0/150 (ca 15 meter från)
Mätning har utförts av sektionerna 0/200, 0/250 och 0/300.
Vägens bredd är ca 9 meter och totalt har ca 20 punkter mätts per sektion.

Totalstationen var ansluten till befintliga system i plan och höjd för objektet och var placerad över känd utgångspunkt samt kontrollerad i höjd mot närliggande utgångspunkter.

ANM. Totalstationen var vid mätningen kalibrerad för korthållsmätning, ca 20-40 meter, vilket påverkat mätningens noggrannhet något för främst sektionerna 0/250 och 0/300.

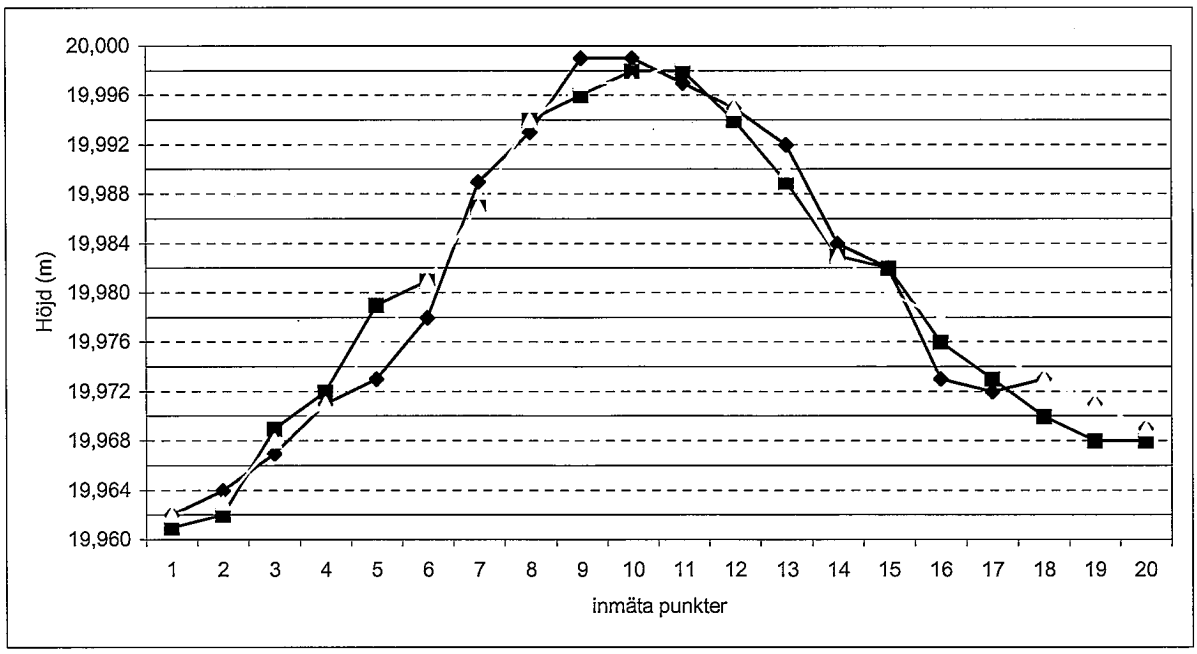
Tvärprofil 0/150

Mätavstånd 15 – 25 meter
Mätningens standardavvikelse = 1,00 mm

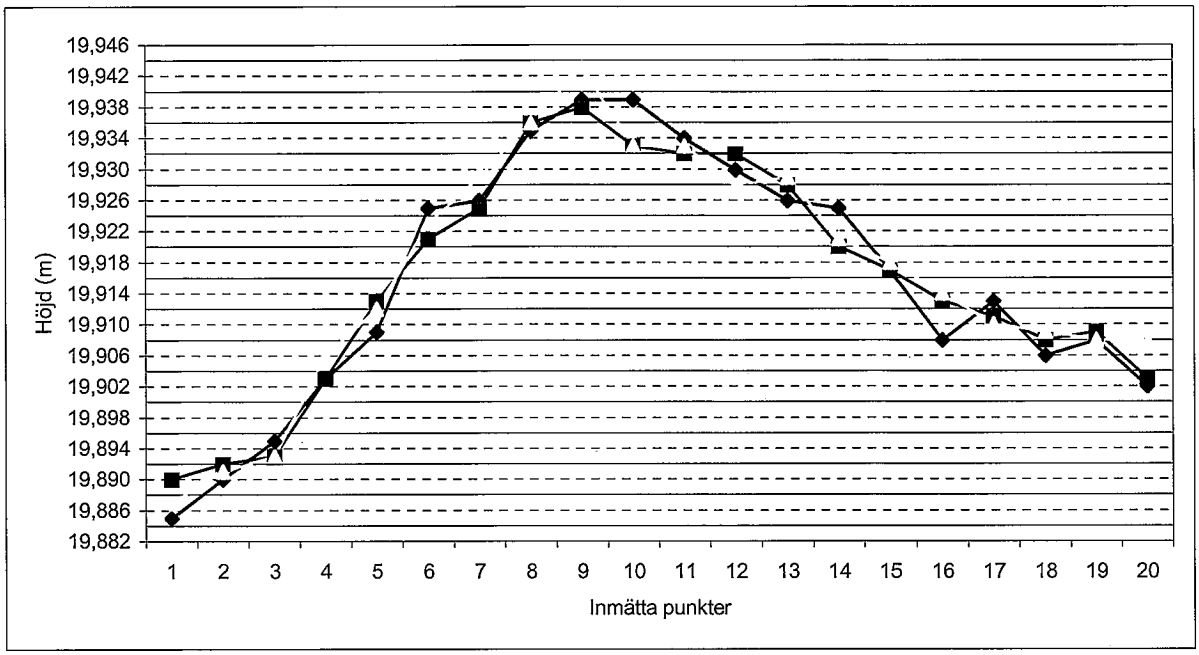


Tvärprofil 0/200

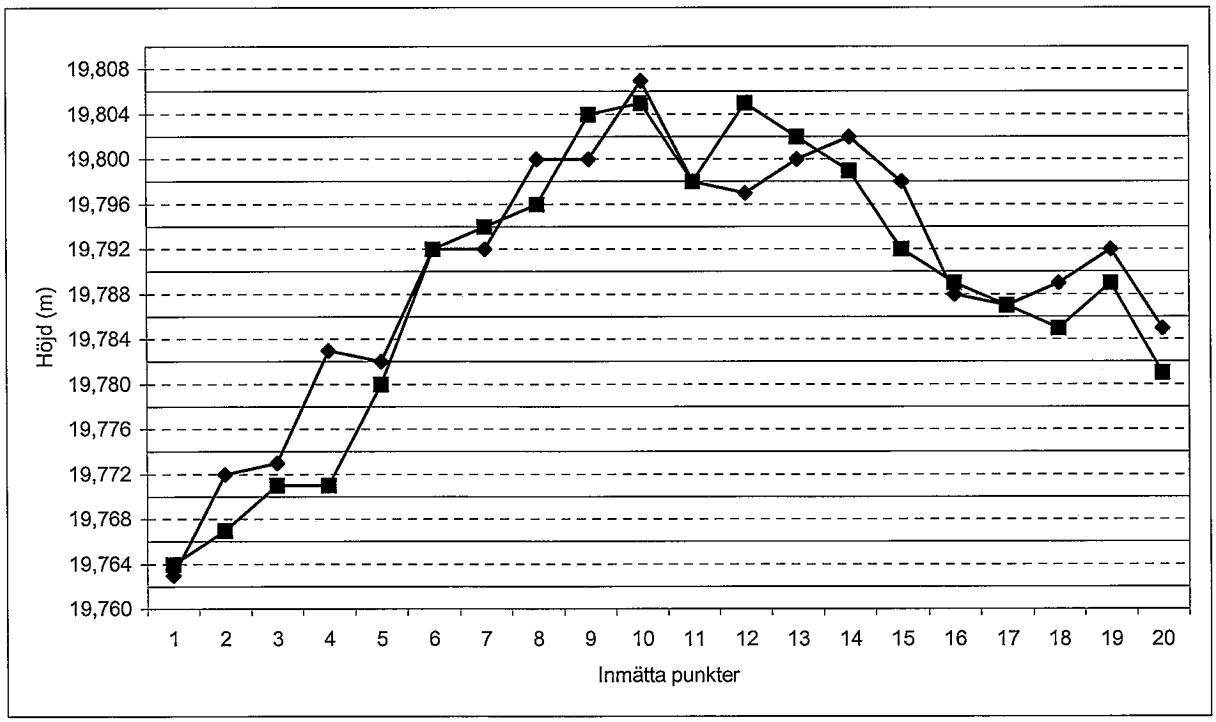
Mätavstånd 50 – 60 meter
Mätningens standardavvikelse = 1,15 mm



Tvärprofil 0/250
Mätavstånd 100 -110 meter
Mätningens standardavvikelse = 1,68 mm



Tvärprofil 0/300
Mätavstånd 150 - 160 meter
Mätningens standardavvikelse = 2,19 mm

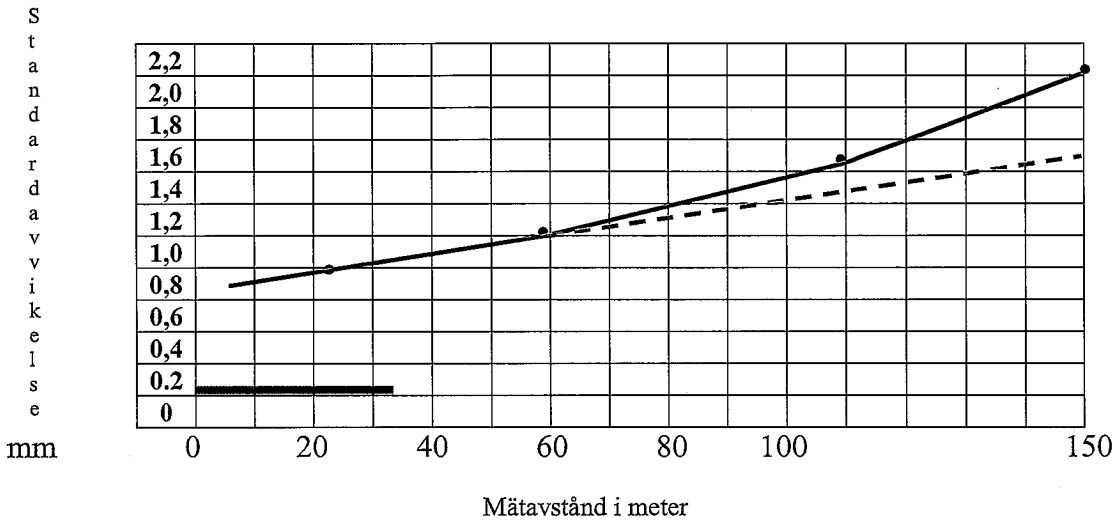


Sammanfattning av provningen, redovisad i diagrammen ovan, är att mätningens noggrannhet, uttryckt som standardavvikelse, kan utföras med följande antaganden:

- Vid upp till ca 60 meters mätavstånd med ± 1 mm
- För avståndet ca 100 meter med ± 1,5 mm
- För avstånd et ca150 meter med ± 2,0 mm

Nedan redovisas ett diagram över testmätningen och dess noggrannhet. I diagrammet redovisas även en skattad noggrannhet som erhållits med annan kalibrering på totalstationen och att ringa förekomst av refraktion rått vid mättillfället för asfaltbeläggningen.

I diagrammet redovisas också den optimala noggrannheten som utförts på den jämnslipade golvytan inomhus.



——— Erhållen standardavvikelse vid mätning av golv inomhus med mätvagn.

——— Erhållen standardavvikelse vid mätning av nybelagd asfaltsyta med ej längdkalibrerad totalstation och påverkan av refraktion (sol + låg prismahöjd)

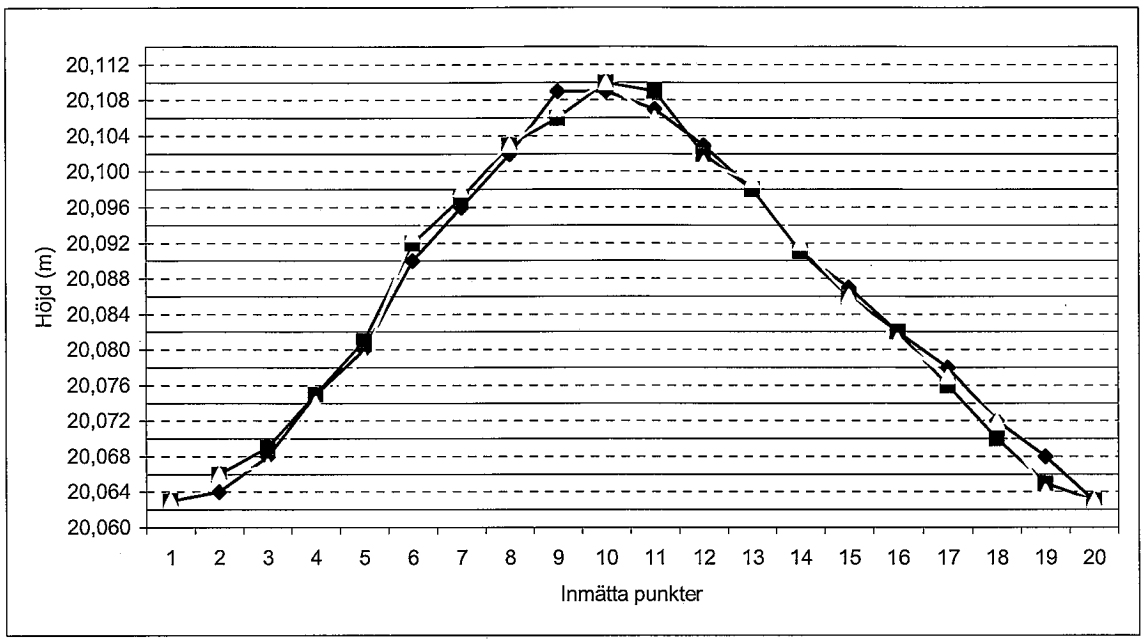
– – – – Skattad standardavvikelse vid kalibrerad totalstation och ringa refraktion.

- *Mätning på nybelagd väg med mäthjulet*

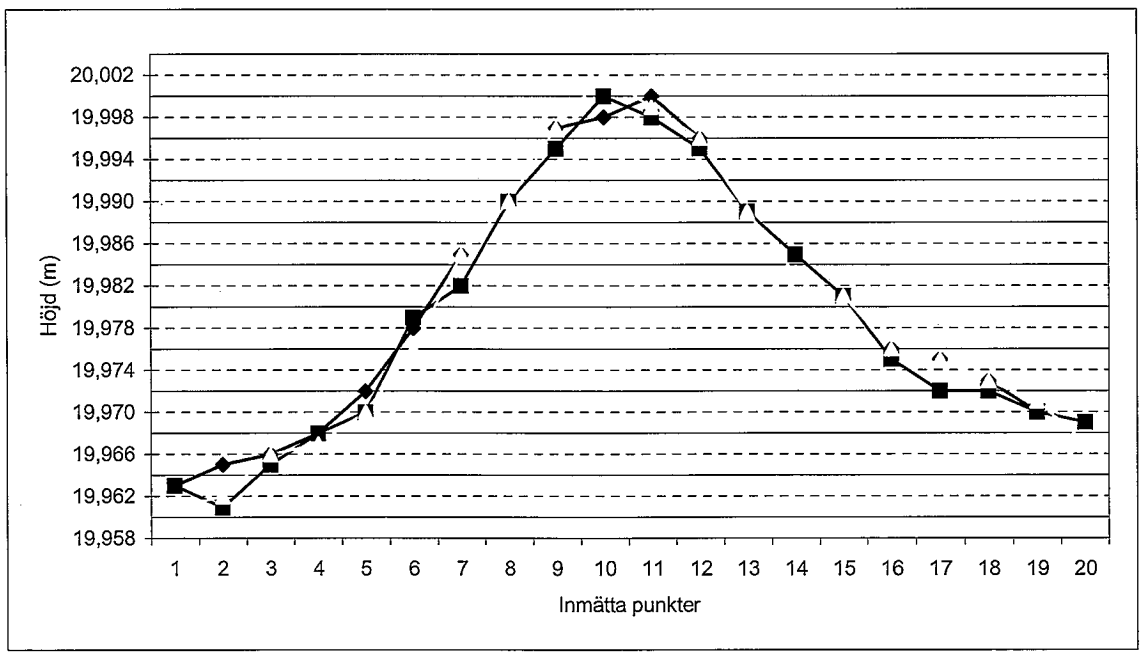
Mätning av samma tvärprofiler har även utförts med mäthjulet. Mätningen har utförts under likartade förhållanden och med samma kalibrering för korta avstånd, dock med den skillnaden att prismat varit placerat ca 0, 5 meter högre än mätvagnens prismaläge. Detta har troligen medfört något mindre inverkan av refraktion. Vid användning av mäthjulet är dock framförande något mer "vingligt" som medför att refraktionsvinsten kan "kvittas med vingligheten" avseende noggrannheten. Mäthjulets med sin stora hjuldiameter tar ej upp de små ojämnheter som kan finnas i beläggningen (makrotextur). Vid mätningen bytte observatör och mäthjulets förare plats, vilket antas ha påverkat resultatet (vingligheten) vid de första mätningarna som utfördes i turordningen sektion 0/300, 0/250 o.s.v.

Nedan redovisas erhållna resultat motsvarande som för mätvagnen.

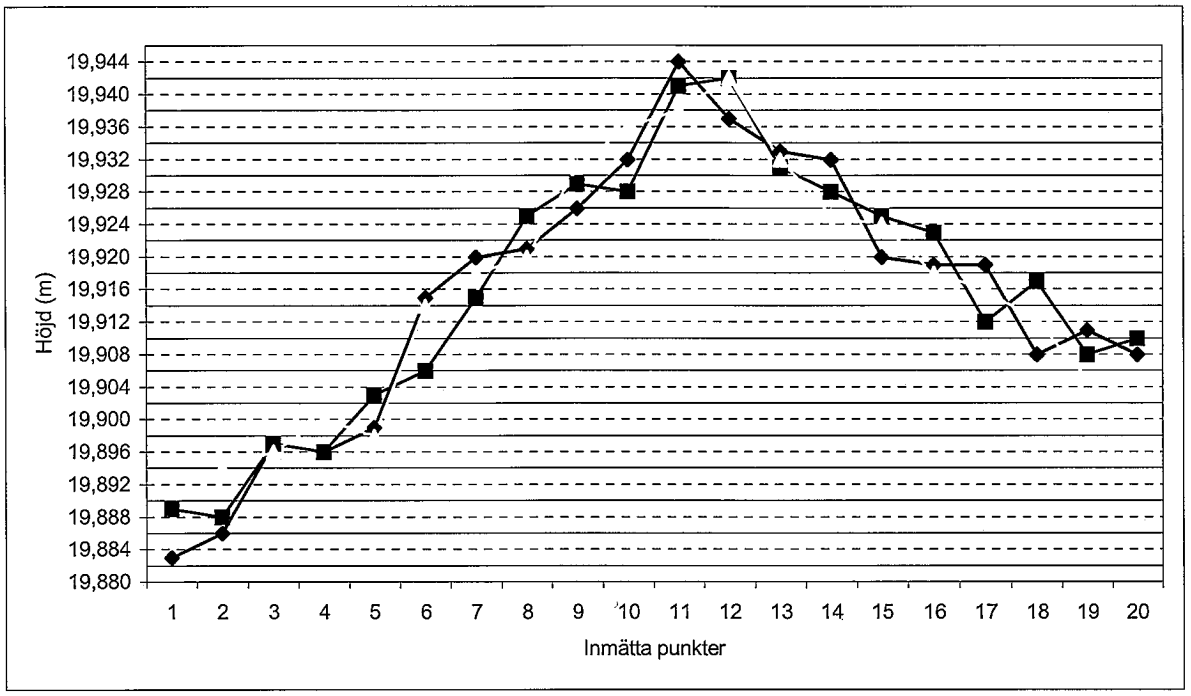
Tvärprofil 0/150
Mätavstånd 15 - 25 meter
Mätningens standardavvikelse = 0,85 mm



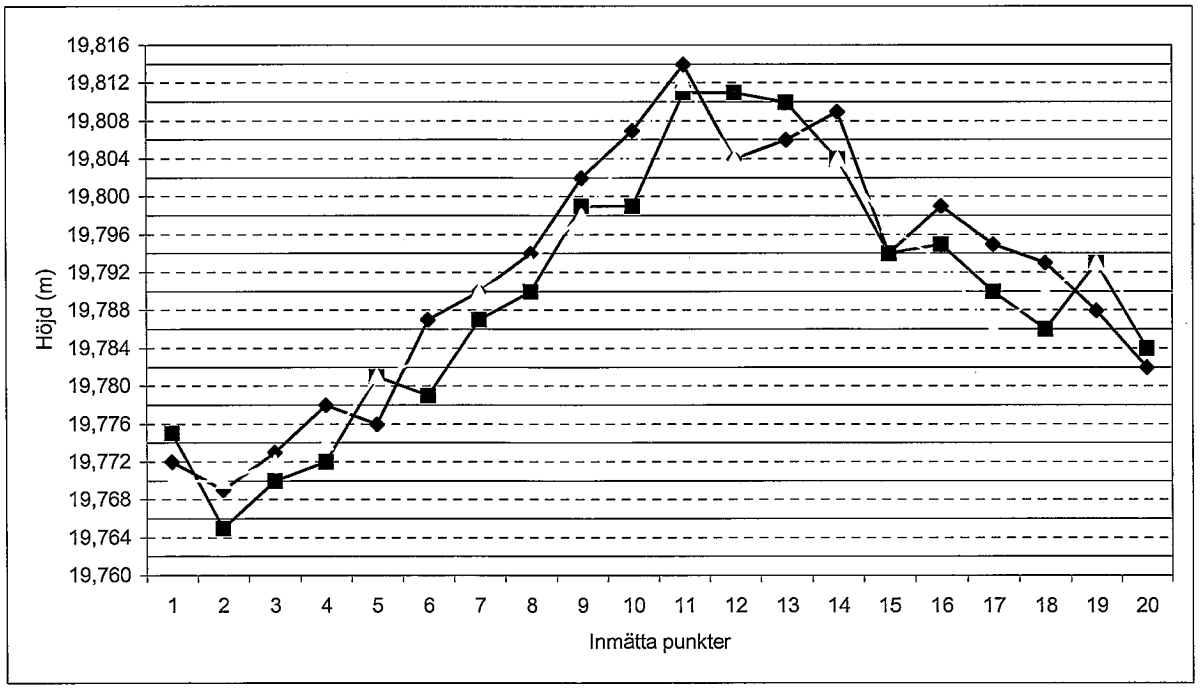
Tvärprofil 0/200
Mätavstånd 50 - 60 meter
Mätningens standardavvikelse = 0,94 mm

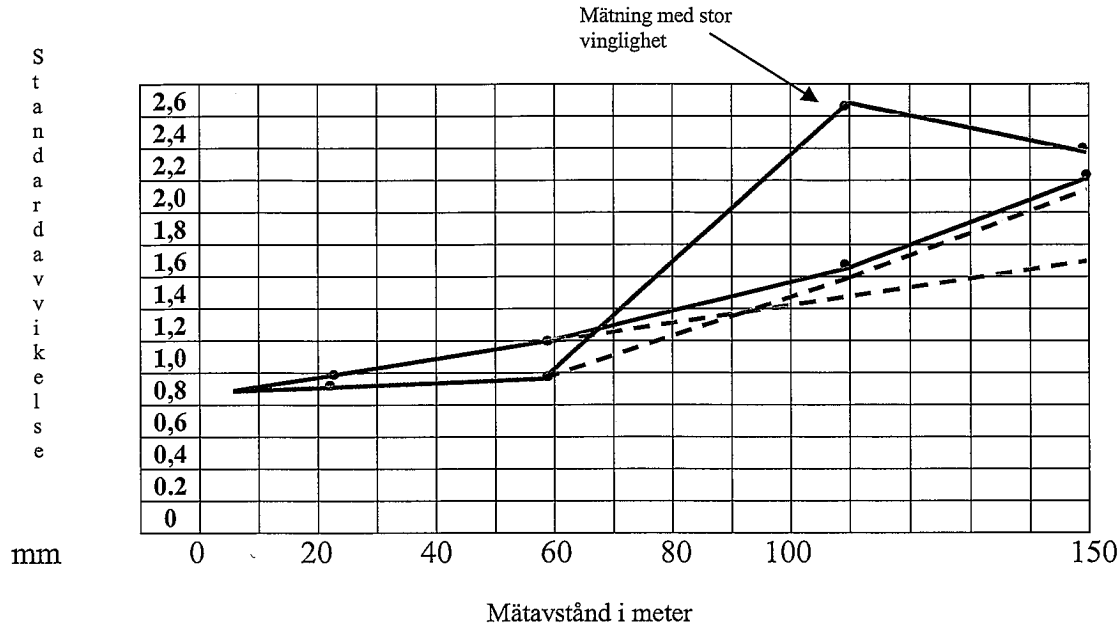


Tvärprofil 0/250
Mätavstånd 100 - 110 meter
Mätningens standardavvikelse = 2,65 mm



Tvärprofil 0/300
Mätavstånd 150 - 160 meter
Mätningens standardavvikelse = 2,39 mm





- Mätvagnen

——— Erhållen standardavvikelse vid mätning av nybelagd asfaltsyta med ej längdkalibrerad totalstation och påverkan av refraktion (sol + låg prismahöjd)

– – – – Skattad standardavvikelse vid kalibrerad totalstation och ringa refraktion.

- Mäthjulet

——— Erhållen standardavvikelse vid mätning av nybelagd asfaltsyta med ej längdkalibrerad totalstation och påverkan av refraktion och vinglighet. (Ovan förare av mäthjulet)

– – – – Skattad standardavvikelse vid kalibrerad totalstation, ringa refraktion och van förare av mäthjulet. (Verifierats av andra tester och objektmätningar).

Sammanfattning av provningen med mäthjulet, redovisad i diagrammen ovan, är att mätningens noggrannhet, uttryckt som standardavvikelse, kan utföras med följande antaganden:

- Vid upp till ca 60 meters mätavstånd med ± 1 mm
- För avståndet ca 100 meter med ± 1,5 mm
- För avståndet ca150 meter med ± 2,0 mm

Det bör beaktas att vinglighet, avseende att föra hjulet på definierad linje och samtidigt i lod, erfordrar viss träning och ger högre risk för större avvikelser. Dock antas, samt styrks av andra tester, att skillnaden för nybelagda asfaltsytor är marginell avseende noggrannheten. Dock är det väsentligt enklare att mäta i definierad linje med mätvagnen samtidigt som denna detekterar små ojämnheter där detta är önskvärt.

6. Utförda mätningar och tester samt exempel

◻ Nivåkontroll av terrassyta med mäthjul, utförd i profiler

Mätningen är utförd på ett större mellansvenskt projekt. Mätning av terrassen har utförts av entreprenören i 32 enstaka slumpade punkter enligt kravet i ATB Väg 2003. Entreprenörens resultat har godkänts.

Mätningen med mäthjulet har utförts i 7 längsgående profiler som täcker vägområdet som ingår i kontrollobjektet. Av dessa profiler har en 3D-modell upprättats i program GEO. Jämförelse har gjorts mellan entreprenörens mätta punkter och modellens erhållna höjdvärden.

Nedan redovisas skillnaden mellan entreprenörens resultat och den upprättade 3D-modellen när en successiv minskning har utförts av i modellen ingående profiler från 7 till 4 till 3 profiler.

- 7 inmätta profiler med mäthjulet

Punkt nr.	X	y	Z
1	82 812.70	38 962.56	-0.002
2	82 813.21	38 963.85	-0.008
3	82 819.07	38 967.75	-0.006
4	82 813.44	38 977.59	0.002
5	82 809.42	38 980.47	-0.002
6	82 807.24	38 981.57	-0.008
7	82 801.92	38 994.92	-0.010
8	82 803.64	39 016.47	-0.010
9	82 798.88	39 017.44	-0.010
10	82 796.43	39 018.47	-0.011
11	82 797.68	39 022.23	-0.010
12	82 799.74	39 026.78	-0.012
13	82 792.55	39 029.37	-0.009
14	82 790.99	39 034.61	-0.009
15	82 795.09	39 036.90	-0.011
20	82 848.25	38 884.08	0.004
21	82 842.98	38 892.87	-0.002
22	82 842.81	38 893.40	-0.001
23	82 841.79	38 894.83	0.004
24	82 840.78	38 908.22	0.005
25	82 830.67	38 915.69	0.006
26	82 829.54	38 918.78	0.000
27	82 832.30	38 925.25	0.001
28	82 825.60	38 927.95	-0.004
29	82 828.97	38 935.15	0.001
30	82 821.06	38 942.67	-0.004
31	82 819.52	38 954.21	-0.005
32	82 819.89	38 963.42	-0.003

Jämförelse mellan samtliga sju längsprofiler i 3D-modell och entreprenörens kontrollpunkter.

Tabellen visar skillnader i höjd mellan inmätning utförd med mäthjul och inmätning utförd med traditionell metod med kontrollpunkter, gjorda av mättekniker på vägprojektet.

Diagrammet tydliggör höjdskillnaderna (z) mellan de olika inmätningarna.

Standardavvikelsen för skillnaderna är 5,4 mm

- 4 inmätta profiler med mäthjulet

Punkt nr.	x	y	z
1	82 812.70	38 962.56	-0.001
2	82 813.21	38 963.85	-0.007
3	82 819.07	38 967.75	-0.005
4	82 813.44	38 977.59	0.010
5	82 809.42	38 980.47	-0.002
6	82 807.24	38 981.57	-0.012
7	82 801.92	38 994.92	-0.012
8	82 803.64	39 016.47	-0.009
9	82 798.88	39 017.44	-0.005
10	82 796.43	39 018.47	-0.011
11	82 797.68	39 022.23	-0.008
12	82 799.74	39 026.78	-0.005
13	82 792.55	39 029.37	-0.010
14	82 790.99	39 034.61	-0.008
15	82 795.09	39 036.90	-0.009
20	82 848.25	38 884.08	0.014
21	82 842.98	38 892.87	-0.002
22	82 842.81	38 893.40	0.000
23	82 841.79	38 894.83	0.004
24	82 840.78	38 908.22	0.004
25	82 830.67	38 915.69	0.005
26	82 829.54	38 918.78	0.004
27	82 832.30	38 925.25	0.003
28	82 825.60	38 927.95	-0.001
29	82 828.97	38 935.15	-0.002
30	82 821.06	38 942.67	-0.004
31	82 819.52	38 954.21	-0.006
32	82 819.89	38 963.42	-0.001

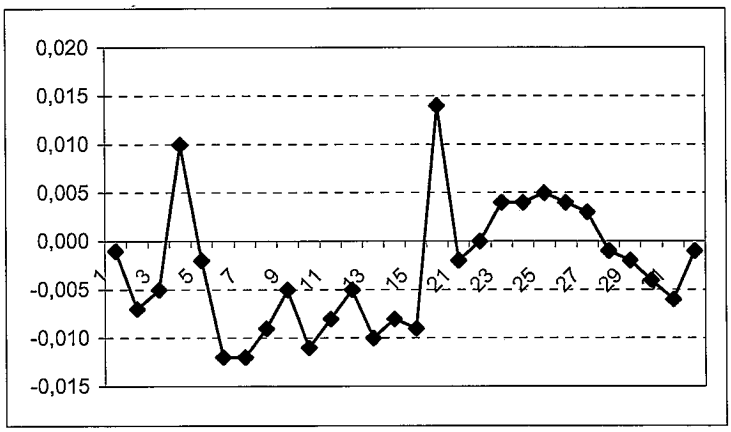
Jämförelse mellan 4 längsprofiler i 3D-modell och entreprenörens kontrollpunkter.

Tabellen visar skillnader i höjd mellan inmätning utförd med mäthjul och inmätning utförd med traditionell metod med kontrollpunkter, gjorda av mättekniker på vägprojektet.

Diagrammet tydliggör höjdskillnaderna (z) mellan de olika inmätningarna.

Standardavvikelsen för skillnaderna är 6,1 mm

Diagram över skillnaderna



- 3 inmätta profiler med mäthjulet

Punkt nr.	x	y	z
1	82 812.70	38 962.56	-0.001
2	82 813.21	38 963.85	-0.005
3	82 819.07	38 967.75	-0.007
4	82 813.44	38 977.59	0.001
5	82 809.42	38 980.47	0.000
6	82 807.24	38 981.57	-0.013
7	82 801.92	38 994.92	-0.012
8	82 803.64	39 016.47	-0.006
9	82 798.88	39 017.44	-0.011
10	82 796.43	39 018.47	-0.022
11	82 797.68	39 022.23	-0.010
12	82 799.74	39 026.78	-0.001
13	82 792.55	39 029.37	-0.010
14	82 790.99	39 034.61	-0.012
15	82 795.09	39 036.90	-0.005
20	82 848.25	38 884.08	0.015
21	82 842.98	38 892.87	0.001
22	82 842.81	38 893.40	-0.002
23	82 841.79	38 894.83	0.005
24	82 840.78	38 908.22	0.002
25	82 830.67	38 915.69	0.007
26	82 829.54	38 918.78	0.002
27	82 832.30	38 925.25	-0.004
28	82 825.60	38 927.95	0.002
29	82 828.97	38 935.15	0.000
30	82 821.06	38 942.67	-0.003
31	82 819.52	38 954.21	-0.005
32	82 819.89	38 963.42	-0.010

Jämförelse mellan 3 längsprofiler i 3D-modell och entreprenörens kontrollpunkter.

Tabellen visar skillnader i höjd mellan inmätning utförd med mäthjul och inmätning utförd med traditionell metod med kontrollpunkter, gjorda av mättekniker på vägprojektet.

Diagrammet tydliggör höjdskillnaderna (z) mellan de olika inmätningarna.

Standardavvikelsen för skillnaderna är 7,8 mm

Sammanfattning av undersökningen

Testen har i jämförelserna ovan visat hur väl en 3D-modell av profilerna överensstämmer med de enskilt mätta punkterna av entreprenören. Skillnaderna vid 7 längsprofiler som mättes under ca 10 -15 minuter ligger vid en standardavvikelse på något över 5 mm. Skillnaden ökar någon mm vid reducering av modellen baserad på 4 resp. 3 profiler.

Den andra testen har avsett att jämföra de enskilda mätningarna i längsprofilerna med en i program GEO upprättad anläggningsmodell för terrassytan, d.v.s. modell av de teoretiska värdena från bygghandlingen. Beräkningarna har sedan utförts på motsvarande sätt som entreprenörens kontroll med de 32 punkterna.

Beräkningarna som redovisas nedan påvisar att skillnader mellan att mäta in 7 eller 3 längsprofiler är marginell. Skillnaden mot entreprenörens resultat är dock mer påtaglig.

s = standardavvikelse
m = medelavvikelse

- Kontrollpunkter (innehållande 32 punkter) utförd av entreprenören.
s = 6 mm m = 3 mm

- Samtliga sju längsprofiler (innehållande 6656 punkter) jämförd med anläggningsmodell.
s = 12 mm m = 6 mm

- Fyra längsprofiler (innehållande 3728 punkter) jämförd med anläggningsmodell.
s = 12 mm m = 6 mm

- Tre längsprofiler (innehållande 2852 punkter) jämförd med anläggningsmodell.
s = 11 mm m = 5 mm

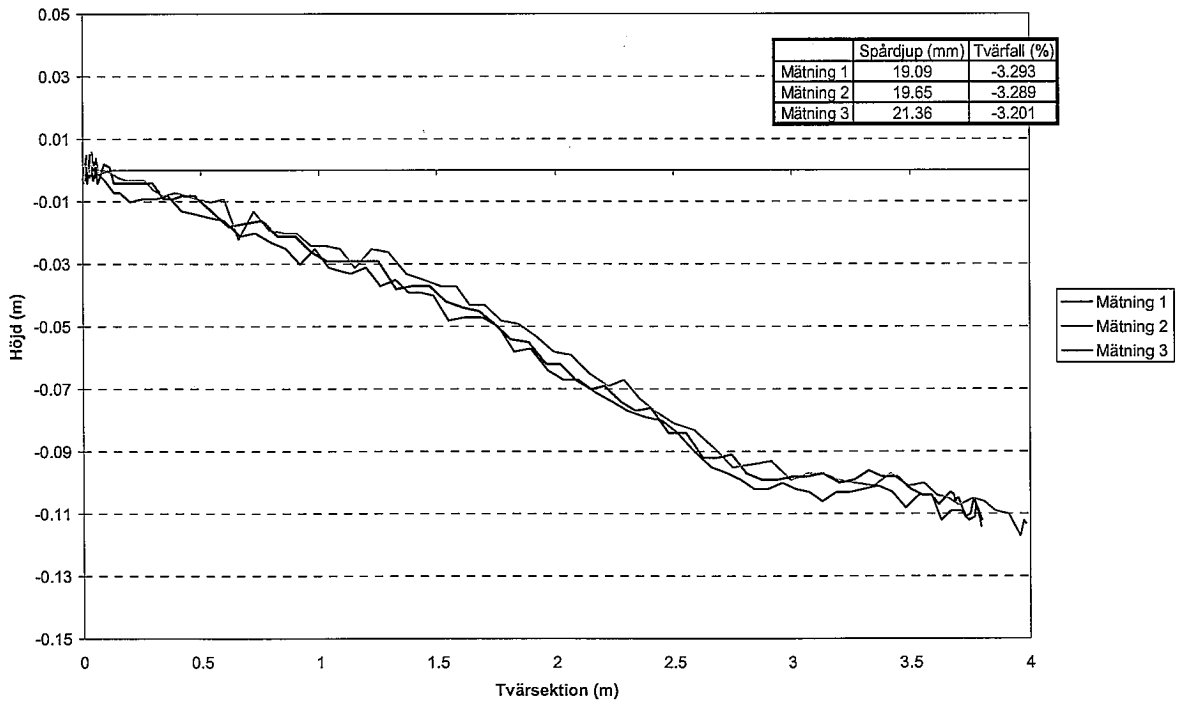
Slutsats: Vid mätning med mäthjulet erhålls ett stort antal punkter som ger ett säkrare resultat och större chans att upptäcka fel, som kan rättas till.

❑ Bestämning av tvärprofiler på äldre belagd ojämn väg.

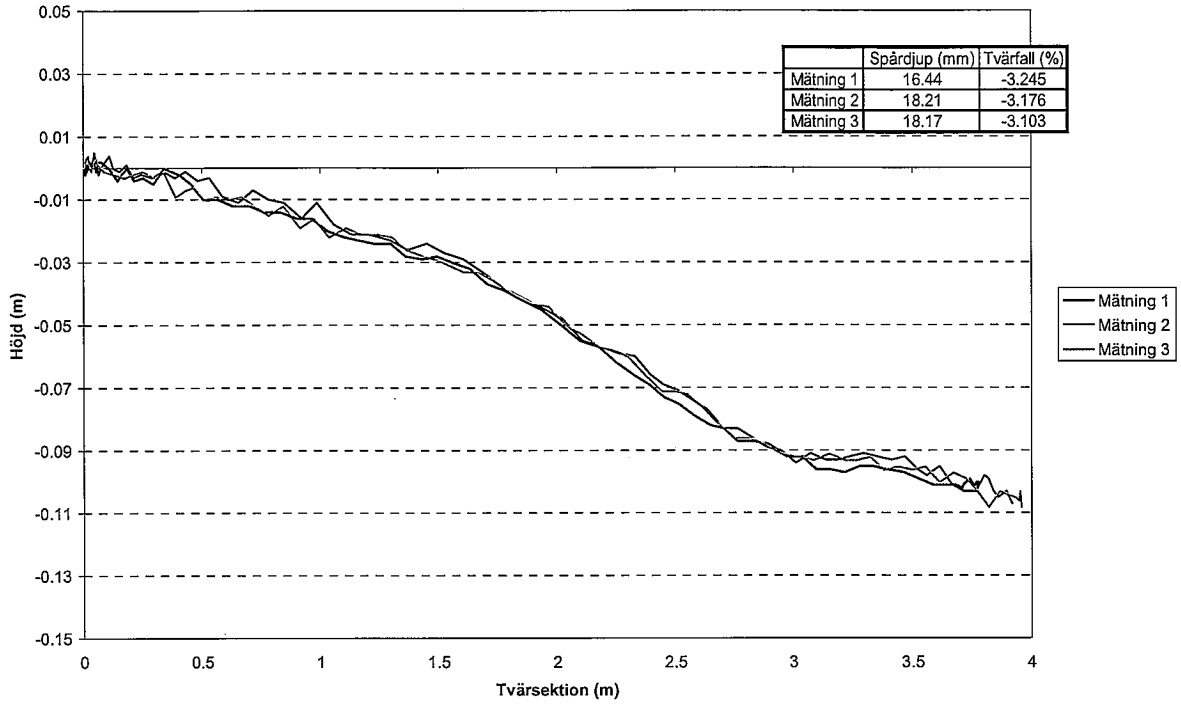
Mätning är utförd med mätvagn och totalstationen har kalibrerats för avsedda mätområden. Liten sidoförflyttning av mätvagnen har observerats i en mätning av tvärsektionen 0/140 som redovisat stor avvikelse mot övriga mätningar. Vid den aktuella sektionen kunde samtidigt konstateras en lokal stor ojämnhet som påverkat detta resultat.

Mätningen har utvärderats och beräknats i det utvecklade dataprogrammet. Beräkning har skett av max. spårdjup, d.v.s. största ojämnhet med trådprincipen samt beräkning av tvärfallet.

- Tvärsektion vid 60 m (ca:90 m från stationen)

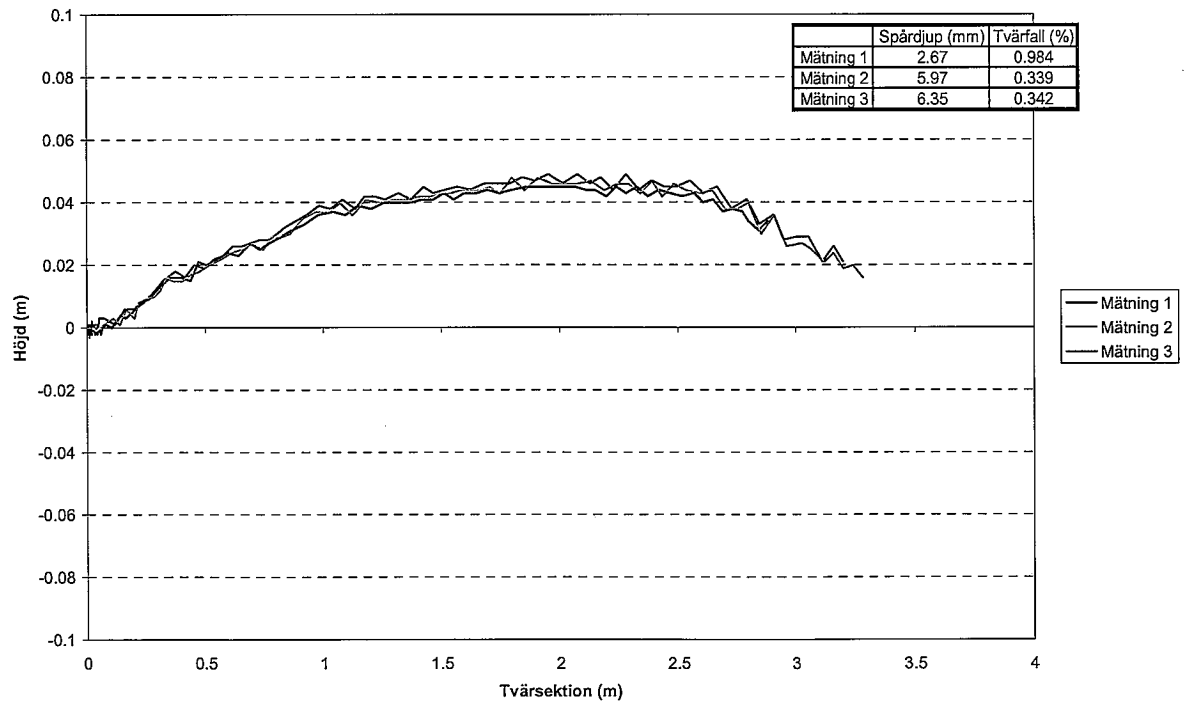


- Tvärsektion vid 100 m (ca:50 m från stationen)



	Spårdjup (mm)	Tvärfall (%)
Mätning 1	16.44	-3.245
Mätning 2	18.21	-3.176
Mätning 3	18.17	-3.103

- Tvärsektion vid 140 m (ca:10 m från stationen)



	Spårdjup (mm)	Tvärfall (%)
Mätning 1	2.67	0.984
Mätning 2	5.97	0.339
Mätning 3	6.35	0.342

Sammanställning av resultat på spårdjup (max. ojämnhet) och tvärfall.

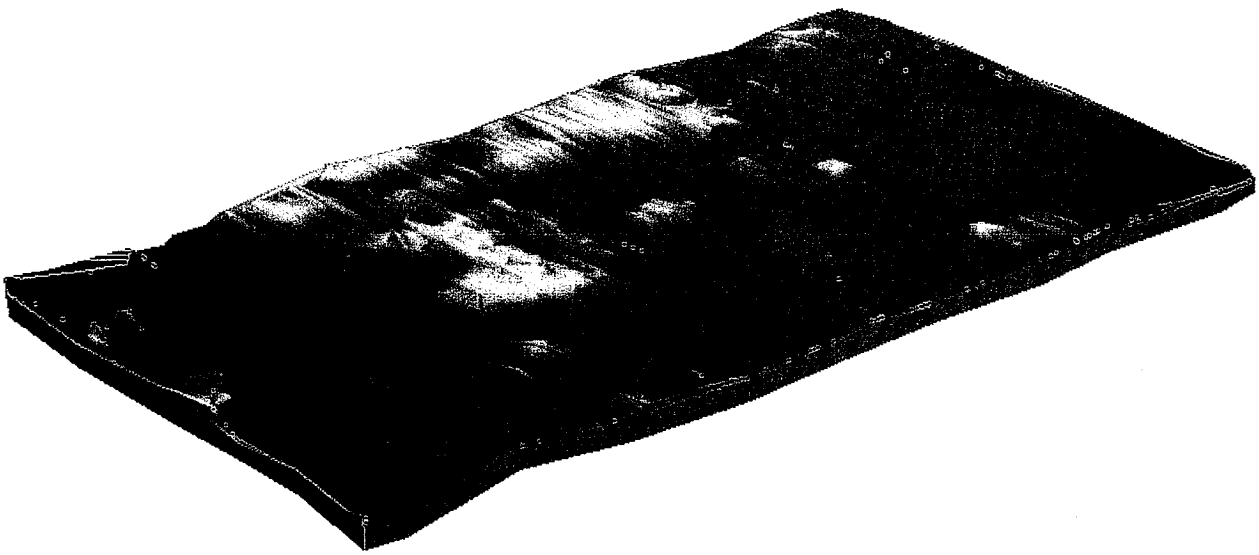
Mätningnr	Längdsektion (m)	Spårdjup (mm)	Tvärfall (%)	Kommentarer
1	60	19.09	-3.293	• Max. avvikelse i sektion 60
2	60	19.65	-3.289	- spår 2,3 mm
3	60	21.36	-3.201	- tvärfall 0,09 %
1	100	16.44	-3.245	• Max. avvikelse i sektion 100
2	100	18.21	-3.176	- spår 1,8 mm
3	100	18.17	-3.103	- tvärfall 0,14 %
1	140	2.67	0.984	• Max. avvikelse i sektion 140
2	140	5.97	0.339	- spår 0,4 mm
3	140	6.35	0.342	- tvärfall 0,03 % Mätning 1 ej inräknad.

Ur graferna kan även visuellt bedömas att spridningen ökar något med avseende på avståndet.

❑ Bestämning av jämnhet på industrigolv

Mätning har utförts för ett befintligt industrigolv med en storlek på c:a 800 m². Golvet var ostädat och ojämnt med vissa skadade partier, gjutetappskarvar m.m. som till viss del antagits påverkat mätningens noggrannhet. Mätningen utfördes med mätvagnen och totalstation.

Sedan totalstationen etablerats med känd höjd (5 min) utfördes mätningen under 40 min. Totalt samlades ca 4200 punkter in, förlagda i längsprofiler över ytan. Nedan redovisas modell över golvytan i 3D från program GEO.



I modellen ovan redovisas lågpunkter med blå färg och högpunkter med röd och gul färg.

I bilaga 2 redovisas nivåkurvor med 5 mm:s ekvidistans.
I bilaga 3 redovisas ritning över golvet med mätvagnens profiler.

Nedanstående tabell visar några slumpvis utvalda kontrollpunkter som noggrant avvägs från utgångsfixen. Differensen mellan avvägningen och samma punkter uttagna ur 3D-modellen redovisas nedan. Kontrollpunkterna är tagna i en linje mellan de längsgående profillinjerna som bestämts av mätvagnen. Resultatet får anses som mycket bra för det aktuella golvet.

Standardavvikelsen för denna kontroll är 2,5 mm.

	X	Y	HÖJDDIFF (m)
Kontrollpunkt1	112.673	299.997	0.001
Kontrollpunkt2	115.673	299.998	0.000
Kontrollpunkt3	118.673	299.999	0.001
Kontrollpunkt4	121.673	299.999	0.004
Kontrollpunkt5	124.685	300.000	0.000
Kontrollpunkt6	127.685	300.000	0.004
Kontrollpunkt7	130.685	300.000	0.003
Kontrollpunkt8	133.685	300.000	0.001

❑ Övriga utförda tester som ej redovisats i detalj

- Tester och provning av mätmetodik med mätvagn och mäthjul på VTI:s test- och krockbanor, Linköping. Jämförelser av längs- och tvärprofilmätning, hastigheter vid mätning samt kontroller med VTI:s mätutrustningar som statisk tvärprofilmätare och Primal (laserstyrd nivåmätare).

  Testerna har avsett att få in rätt metodik vid mätning och hantering med mätdonen samt underlag för provning av programvarans beräkningar.

- Tester och provning av mätmetodik med mätvagn på industrigolv, VTI fordonshall, Linköping.

  Testerna har avsett att jämföra täthet vid mätning, noggrannhet vid skärande profiler samt provningsunderlag för programvara.

- Tester och provning på lokalväg i Linköping för utprovning av metodik, avståndsrelaterade noggrannheter samt underlag för tester av programvaran.

- Tester med olika totalstationer och deras funktion avseende inställningar, snabbhet vid registrering och formathantering till programvaran.

7. Kompletterande behov av undersökningar och programvarans utveckling

Metodiken med mätvagn och mäthjulet ger möjlighet att ersätta äldre, mer osäkra metoder, som rätskivor, bogserade mätvagnar o.dyl. där ytmätning är aktuell.

Under projektets utförande har ej alla tänkta användningsområden kunnat prövas. Projektet har inriktats mot att mer noggrant behandla vissa mätningar och utvärderingar som golvs jämnhet och vägars ytjämnhet, lutning och underytors nivåer.

Utformad mätvagn och mäthjul utgör prototyper. Under projektets utförande har vissa mindre behov av förbättringar konstaterats som är aktuella för nästa version.

Av intresse kan vara att även ta fram ett kompletterande mätdon i form av ett mäthjul med storlek mellan mätvagnens och nuvarande mäthjulets storlek.

För fortsatta mätningar bör bl.a. provas och testas

- Mätning med annan typ av totalstation som ger mycket hög noggrannhet för att eventuellt detektera små ojämnheter på golv (Buktighet 1,2 mm) och IRI-värden på vägbeläggning avseende våglängdsområdet 5 meter – c:a 0,5 meter.
- Test av metodik vid mätning av prefabricerade bjälklags överhöjning, nedböjning vid flerskiktsgolv på dessa samt mängdning av olika ingående skikt.
- Tester avseende brobeläggningars jämnhet och tjockleksmätning på lagerytor.
- Tester med nya i marknaden förekommande och utvecklade totalstationer.
- Utveckling, förbättring och komplettering av programvaran.
- Ev. radio- eller laserstyrningsfunktion till mätvagnen.
- Utveckla handledningar och beskrivningar för utrustningar och förfarande vid olika tillämpningar av mätning.

8. Sammanfattning

Metodik, mätdon och programvaran har påvisat sig fungera för de mest förekommande behov av ytmätningar. Metoden ger möjlighet att under mätavståndet ca 40 meter ge en noggrannhet (standardavvikelse) som klart understiger 1 mm. För längre avstånd – upp till ca 150 meter påvisar testerna en noggrannhet på ca 2 mm. Noggrannheten är givetvis också beroende på underlagets utseende och jämnhetsvariation, som inverkar på mätmetodik och täthet av registreringar.

Med dagens totalstationer, som medger låsning av instrumentet på mätvagnens eller mäthjulets prisma, kan mätningar utföras av en person. För mer komplexa mätningar med flertalet förflyttningar av totalstation, behov av bevakning, anslutningsmätningar till befintliga utgångspunkter m.m. rekommenderas två personer.

Vid de flesta byggnationer inom hus och anläggning används totalstationer idag – oavsett projektets storlek. I dessa instrument finns också inbyggd programvara för mätdatalagring, koordinat- och höjdberäkningar m.m. som medför att beräkningar kan utföras och kontrolleras i samband med mätningen. Genom att använda mätvagn och/eller mäthjul samt bärbar dator

med den utvecklade programvaran kan de flesta tillämpningar av ytmätning för produktionskontroll hanteras direkt på mätplatsen.

Metodiken har t.ex. avseende ytmätning av golv visat att upp till ca 6000 mätningar är möjligt under en timmes tid. Vid mätning på vägar reduceras mätningarnas antal något beroende på typ av mätning, åtkomst, hinder och ev. trafik.

Genom metoden kan ett stort antal mätvärden erhållas och enkelt hanteras i dator för bearbetning av enskilda parametervärden eller framställning av 3D-modeller. Modellerna kan sedan användas för detektering av ojämnheter, nivåbestämningar generellt, bestämning av lagertjocklekar eller för mängdberäkning av massor.

Linköping 2005-05-25

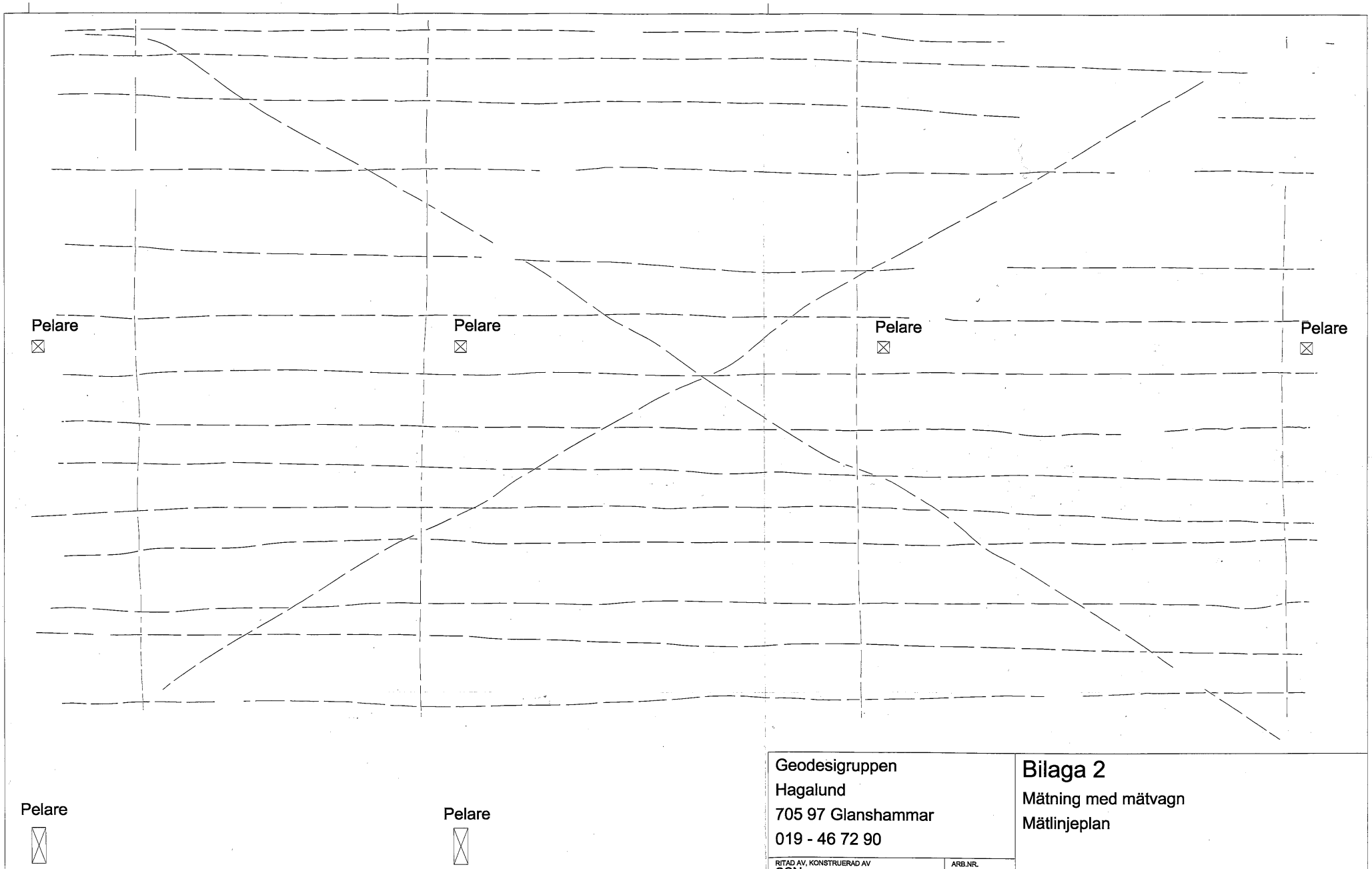
Projektgruppen

Bilagor:

Bilaga 1 Exempel på registreringar från totalstation.

Bilaga 2 Nivåkurvor 5 mm ekvidistans från 3D-modell över industrigolvet.

Bilaga 3 Mätvagnsprofiler vid mätning av industrigolv 800 m².



Geodesigruppen
Hagalund
705 97 Glanshammar
019 - 46 72 90

Bilaga 2

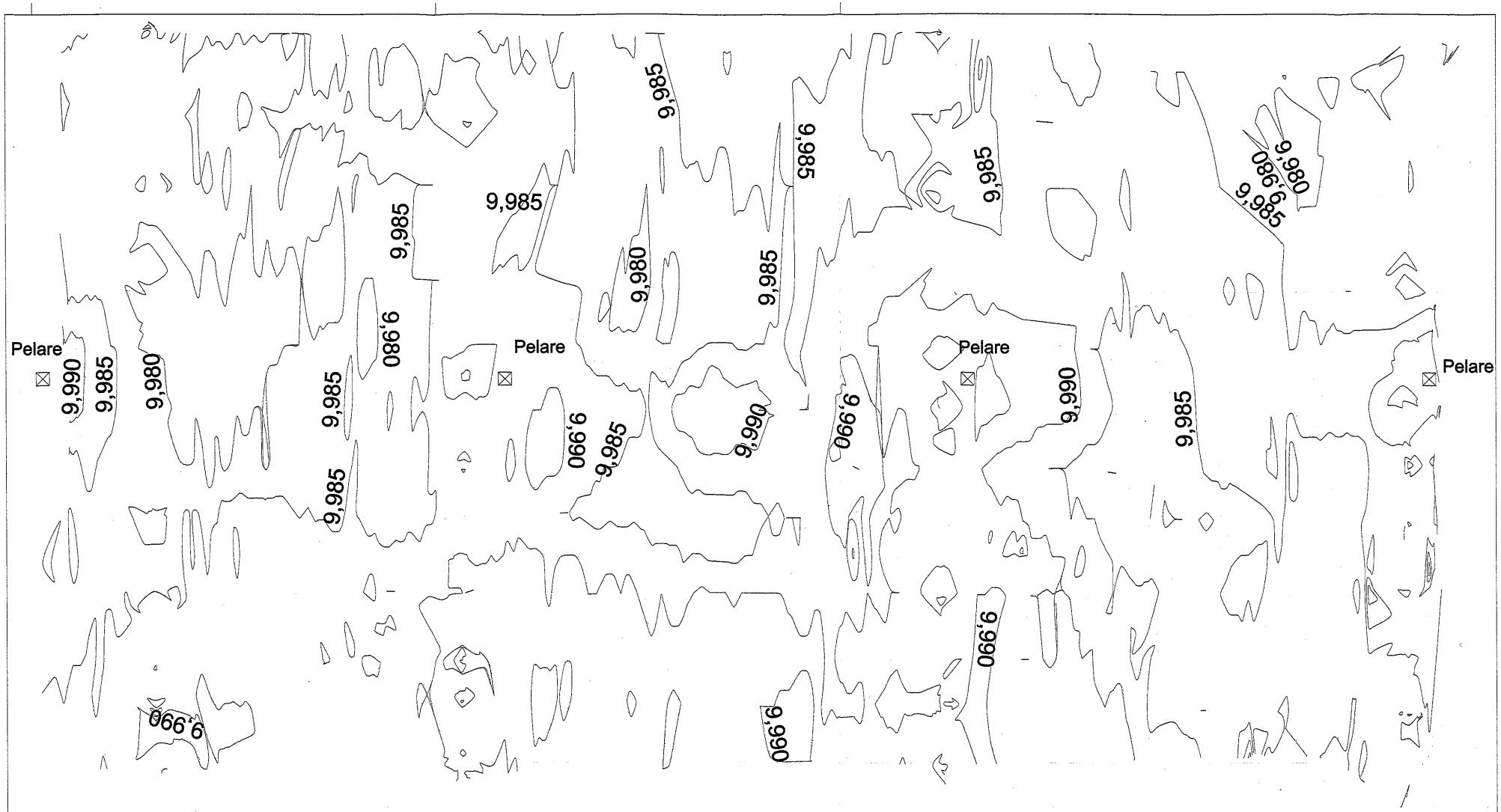
Mätning med mätvagn

Mätlinjeplan

RITAD AV, KONSTRUERAD AV	ARB.NR.
SSN	

Glanshammar 2005-05-02

SKALA	HÖJDSKALA	RITNINGSNUMMER	REV
1:100		Mätlinjer	



Pelare

Pelare

Geodesigruppen Hagalund 705 97 Glanshammar 019 - 46 72 90		**Bilaga 3** Mätning med mätvagn Nivåplan Ekvidistans 5 mm		
RITAD AV, KONSTRUERAD AV SSN	ARB.NR.			
Glanshammar 2005-05-02		SKALA 1:100	HÖJDSKALA	RITNINGSNUMMER Ekv-5	REV