

Fordonsburen laserscanning som  
indatametod för beräkning av  
vägtrafikbuller

Vehicle mounted laser scanning  
used as an input data method  
for calculation of road traffic noise

PERRY OHLSSON

Sökord: Laserscanning, indatametod,  
beräkning, väg, buller  
Laser scanning, input data method,  
calculation, road, noise

Examensarbete 2000:14

# 1 Förord

Detta examensarbete är utfört i ämnet väg- och trafikplanering vid Institutionen för vatten miljö transport, Chalmers tekniska högskola, i samarbete med Flygfältsbyrån, Göteborg.

Jag vill tacka min handledare Gunnar Lannér, högskolelektor vid Institutionen för vatten miljö transport, Chalmers tekniska högskola och Mats Werner, Flygfältsbyrån Göteborg. Jag vill även tacka Lars Schönberg och Johanna Rödström, Flygfältsbyrån Göteborg, som har hjälpt mig med råd och tips. Dessutom vill jag tacka Erland Kjellsson, GF konsult Göteborg, Per-Åke Roupé, Stadsbyggnadskontoret Göteborg samt alla på Flygfältsbyrån som har svarat på frågor och hjälpt till.

Tack även Andreas för synpunkter och kommentarer samt alla andra som på något sätt medverkat.

Slutligen ett stort tack till Ulrika för inspiration, synpunkter, kommentarer och tålamod.

Göteborg Juni 2000

Perry Ohlsson

## 2 Sammanfattning

Trafiken på vägar och gator påverkar ofta omgivningen på ett negativt sätt. En av dessa effekter är det buller som alstras av trafiken och som kan upplevas som störande för boende i närheten. För att åstadkomma en acceptabel miljö ur bullersynpunkt behöver man kontrollera hur vägtrafikbullret påverkar boendemiljön. Genom att beräkna bullernivåerna kan man få ett värde på den påverkan bullret utgör och avgöra om den är acceptabel eller inte. Då vägtrafikbuller beräknas utnyttjas oftast kartor, trafikuppgifter och olika beräkningshjälpmedel. Ett problem som ibland kan uppstå är att det saknas ett bra kartunderlag. Det finns olika metoder som kan utnyttjas för att skapa ett kartunderlag, men i vissa fall är de kanske inte optimala. Huvudsyftet med detta examensarbete har varit att undersöka om fordonsburen laserscanning kan användas som en alternativ metod för att skapa indata (kartunderlag) för beräkning av vägtrafikbuller. Utöver detta har även en utvärdering skett av hur användbara resultaten från mätning är, med avseende på bullerberäkning. Genom att använda datorprogrammet POINT Buller, för beräkning av vägtrafikbuller, har mätdatan från mätning med fordonsburen laserscanning kunnat bedömas.

Fordonsburen laserscanning utnyttjas idag huvudsakligen för hindermätning längs järnväg. Genom att placera en roterande laserenhet horisontellt i ett fordons längdriktning kan en bild skapas av omgivning runt fordonet taget i ett snitt. Istället för att kontrollera hur nära lasern hinder finns, utnyttjades informationen i mätningen till att avbilda omgivningen i närheten av lasern. Med den utrustning som användes kunde ett 25 meter brett område på varje sida av mätfordonet mätas. Som referensobjekt för undersökningen användes Björlandavägen i Göteborg. Resultaten från mätningen kontrollerades med avseende på noggrannhet i höjd och sida samt storleken på den inmätta ytan jämfört med det man önskat mäta. För att kontrollera och lägesbestämma mätdatan användes en digital grundkarta från Göteborgs kommun.

Mätmetoden med fordonsburen laserscanning är en snabb mätmetod som är lättanvänd och har hög rörlighet. Dessutom är den effektiv och kräver liten personalinsats. Den ger även möjlighet att kontrollera mätdata i fält, skapa mycket data på kort tid och medger att man kan mäta långa vägsträckor på kort tid till låg kostnad. Nackdelarna är dock ganska stora med den använda utrustningen. Lasern har en begränsad kapacitet, då den endast klarar att mäta med 25 m räckvidd. Genom att noggrannheten i plan och höjd var större än 0,5 m räckte det inte för beräkning av vägtrafikbuller. Mätutrustningen som användes var inte optimerad för geodetisk mätning, vilket medförde stor osäkerhet av mätdatans riktighet. Det var även svårt att mäta in allt inom laserns räckvidd. Totalt kunde 54% mätas in och 84% för den del av mätningen som inte stördes av hinder. Mycket arbete med redigering och bearbetning av mätdatan krävdes för att få ett användbart material, vilket kan ge felaktiga resultat då detta arbete är beroende av operatörens bedömning. Vid bullerberäkning i POINT Buller behövde mätdatan kompletteras eftersom den inte täckte det önskade området. Dessutom visade resultaten från två olika bullerberäkningar i POINT Buller, med mätdatan och grundkartan som geografisk data, att mätdatan kan ge felaktiga bullernivåer. Som mätmetoden är utformad idag är det ingen bra metod för inmätning av geografisk data. För att kunna utnyttja mätmetoden måste den utvecklas ytterligare. Detta kan göras med bättre och enklare positionsbestämning, längre mätavstånd, högre störningsökänslighet samt annan placering av laserenheten för att bättre kunna mäta in önskat område.

### 3 Summary

The traffic on roads and streets often affects the environment in a negative way. One of these effects is the noise generated by traffic, which can be experienced as disturbing for the inhabitants in the surrounding area. To achieve an acceptable environment from a noise perspective you need to control how road traffic noise affects the living environment. By calculating the noise levels one will be able to obtain a value of the effect noise causes and determine if it is acceptable or not. When road traffic noise is calculated maps, traffic information and different kinds of aids are used. A problem that sometimes occurs is when a basic map isn't sufficient. There are different methods that can be used to create a basic map but sometimes they are not optimal. The main purpose with this master's thesis has been to examine if vehicle mounted laser scanning can be used as an alternative method for creating input data for calculation of road traffic noise. Apart from this an evaluation has been made of how useable the results from measurement is, regarding noise calculation. By using the computer program POINT Noise, for calculation of road traffic noise, the measuring data from measuring with a vehicle mounted laser scanner has been evaluated.

Vehicle mounted laser scanning is normally used for clearance measuring of railroad tracks. By placing a rotating laser unit horizontally in a vehicles length axis, a picture can be created of the surrounding area round the vehicle in a cross section. Instead of controlling how close the laser obstacles are, the information from the measurement was used to reproduce the surrounding area near the laser. With the equipment that was used an area of 25 meters on both sides of the measuring vehicle was measured. As a reference object for the examination a road called Björlandavägen in Göteborg, Sweden was used. The results from the measurement were controlled regarding height and horizontal accuracy, and how large area that has been measured of the desired area. To control and position the measuring data a digital topographic map from the municipality of Göteborg was used.

The measuring method with a vehicle mounted laser scanner is a fast measuring method that is easily used, has a high mobility and efficiency and needs few people to operate it. It gives the opportunity to control measuring data in the field and creates a large amount of data in short time. With these qualities you can measure long road sections in short time at low cost. The disadvantages are unfortunately large with the equipment that was used. The laser has a limited measuring capacity as it only can measure a cross section with a radius of 25 meters. The height and horizontal accuracy is larger than 0,5 m, which isn't enough for calculating road traffic noise. The measuring equipment that was used wasn't optimized for geodetic surveying, which caused a large amount of uncertainty of the accuracy of the measuring data. It was even difficult to measure everything within the laser units range. As a total only 54 % could be measured and 84 % for the part that wasn't disturbed by obstacles. To obtain a useable material much work with the measuring data was demanded, which could give incorrect results, as this work relies on the operator's skill. When calculating noise with POINT Noise the measuring data needed to be supplemented, as it didn't cover the desired area. Apart from this the results from two different noise calculations with POINT Noise, using measuring data and base map as geographic data, showed that measuring data could give incorrect noise levels. To be able to use the measuring method it has to be further developed. This can be accomplished with better and easier positioning, longer measuring distances, higher reliability and a better placement of the laser unit so that the required area can be better measured.

## 4 Innehållsförteckning

1	FÖRORD .....	i
2	SAMMANFATTNING .....	ii
3	SUMMARY .....	iii
4	INNEHÅLLSFÖRTECKNING .....	iv
5	ORDLISTA .....	vi
6	INLEDNING .....	1
6.1	BAKGRUND .....	1
6.2	PROBLEMSTÄLLNING .....	1
6.3	SYFTE .....	2
6.4	AVGRÄNSNING .....	2
7	INVENTERING AV INDATAMETODER .....	3
7.1	KARTMATERIAL .....	4
7.1.1	Lantmäteriverket .....	4
7.1.2	Kommuner .....	5
7.2	FLYGFOTOGRAFERING .....	6
7.3	SATELLITBILDER .....	6
7.4	FLYGBUREN LASERSCANNING .....	7
7.5	FÄLTMÄTNING .....	8
7.6	DIGITALISERING/SCANNING AV KARTOR .....	9
7.7	SAMMANSTÄLLNING AV INDATAMETODER .....	10
8	MÄTMODELL .....	12
8.1	LASERMÄTTEKNIK .....	12
8.2	LASERSCANNER .....	15
8.3	MÄTBEGRÄNSNING .....	17
8.4	REFERENSOBJEKT .....	22
8.5	MÄTNING .....	24
8.6	EFTERARBETE .....	25
8.7	NOGGRANNHET HOS MÄTDATA .....	26
9	RESULTAT OCH ANALYS .....	27
9.1	FÖRSTA BEARBETNINGEN .....	27
9.2	JÄMFÖRELSE MELLAN INMÄTNINGAR OCH GRUNDKARTA .....	28
9.2.1	Täckningsgrad av mätningen .....	28
9.2.2	Noggrannhet i höjd .....	31
9.2.3	Noggrannhet i sida .....	35
10	BULLERBERÄKNING .....	38
10.1	ATT BERÄKNA VÄGTRAFIKBULLER .....	38
10.2	BULLERBERÄKNING I POINT BULLER .....	39
10.2.1	Skapa terrängmodell .....	40
10.2.2	Ange beräkningsvariabler .....	40
10.2.3	Utföra bullerberäkning .....	42
10.2.4	Presentation av resultat .....	42
10.3	RESULTAT .....	42
11	SLUTSATSER .....	45
11.1	MÄTMODELL .....	45

11.1.1 Mätutrustning .....	45
11.1.2 Referensobjektet.....	45
11.1.3 Mätning.....	46
11.2 RESULTAT OCH ANALYS .....	46
11.2.1 Täckningsgrad och noggrannhet.....	47
11.3 BULLERBERÄKNING .....	47
11.4 SAMMANFATTNING .....	49
<b>12 FORTSATTAS STUDIER .....</b>	<b>50</b>
<b>13 REFERENSLISTA/LITTERATURFÖRTECKNING .....</b>	<b>52</b>

## **BILAGOR**

- 1. TVÄRSEKTIONER FRÅN MÄTNING, OREDIGERADE**
- 2. TVÄRSEKTIONER FRÅN MÄTNING, REDIGERADE**

## 5 Ordlista

### **AutoCAD**

*AutoCAD är ett datorprogram för design och konstruktion i 2D och 3D.*

### **CAD**

*CAD (Computer Aided Design) är "datorstödd design" dvs att man skissar, konstruerar, beräknar och helt enkelt "ritar" med datorn, i motsats till papper och penna. Det som främst skiljer CAD-programmen från andra typer av ritprogram är exaktheten och symbolhantering anpassat efter den bransch man arbetar inom. Numera finns även möjlighet att konstruera i tre dimensioner.*

### **Databas**

*Databas är det som vi i dagligt tal kallar för register. Med hjälp av en dator och ett databasprogram kan hanteringen av information bli mycket enkel och effektiv.*

### **Fotogrammetri**

*Bildmätning. Läges-, riktnings- eller tidsbestämning med hjälp av fotografering.*

### **Fjärranalys**

*Fjärranalys är ett samlingsnamn för de tekniska metoder med vilka man på avstånd insamlar, bearbetar och presenterar data om land, miljö, hav och atmosfär. För ändamålet används flygplan, ballonger, sondraketer etc. men framförallt satellitburna fjärranalyssensorer.*

### **GIS**

*GIS (Geografiska informations system) är ett datoriserat informations system för att hantera och analysera data med geografisk referens.*

### **Geografisk information**

*Data relaterad till ett läge i rummet.*

### **Gon**

*Vinkelmått =  $\pi/200$  radianer.*

### **GPS**

*GPS (Global Positioning System) är ett satellitnavigeringssystem bestående av 24 satelliter som kretsar runt jorden. Dessa satelliter sänder exakt position och tid. Med en GPS mottagare kan man få sin position oberoende var man befinner sig på jorden.*

### **Gruppenamn**

*En samling objekt i databasen i NovaPOINT med samma egenskap tilldelas ett namn, ett gruppenamn.*

### **Noggrannhet**

*Grad av överensstämmelse mellan observerat, beräknat eller uppskattat värde och ett sant värde.*

**NovaPOINT**

*NovaPOINT är ett antal applikationer till AutoCAD bestående av programmoduler anpassade för flera olika teknikområden såsom arkitektur, byggnadskonstruktion och samhällsplanering.*

**Objektkoder**

*I databasen i NovaPOINT är alla objekt tilldelade en kod, en objektkod, för att kunna skilja dem åt.*

**Ortofoto**

*Ortofoto är ett flygfoto som korrigerats geometriskt till en skalriktig fotografisk avbildning.*

**Pankromatisk**

*Fotografisk film som är känslig för alla färger.*

**Precision**

*Grad av interna överensstämmelser mellan oberoende mätningar gjorda under specifika villkor.*

**Radiometri**

*Mätning av joniserande och icke joniserande strålning.*

**Riktighet**

*Grad av överensstämmelse mellan det förväntade värdet och det sanna värdet.*

**Rasterdata**

*Ett geografiskt område som beskrivs med hjälp av ett rutnät där varje ruta är minsta beståndsdel.*

**Sidoområde**

*Den del av en väg som inte är trafikeringsområde dvs utrymmet utanför den yta som behövs för vägens brukande.*

**Totalstation**

*Mätinstrument för mätning av vinklar och avstånd.*

**Terrängmodell**

*Med hjälp av dator beskrivs markytan i tre dimensioner där linjer och/eller punkter, som man känner x-, y- och z-värde för, används som indata.*

**Triangelmodell**

*En form av terrängmodell där man utgår från objekt bestående av punkter eller linjer med x-, y- och z-värde. Objekten sammanbinds med linjer som bildar triangelytor där ingen triangelyta skär igenom en annan. Triangelytorna representerar tillsammans den önskade ytan.*

**Tvärsektion**

*Ett sätt att beskriva en terräng- eller markyta genom att rita den som ett snitt dvs en profil tagen tvärs den riktning man studerar.*



**Täckningsgrad**

*Ett mått som beskriver verkligt utfall av en mätning mot önskat utfall.*

**Vektordata**

*Ett geografiskt område som beskrivs med hjälp av punkter, linjer och ytor.*

**Vägområde**

*Vägområdet omfattar den mark som tagits i anspråk för en väganordning. I vägområdet ingår körbanan med tillhörande vänd- och mötesplatser samt slänter och diken.*

## 6 Inledning

### 6.1 Bakgrund

I dagen samhälle påverkas vi alla av de effekter som trafiken på gator och vägar skapar. Det kan vara den påverkan en ny väg har i landskapet, möjligheten att förflytta sig mellan olika platser eller effekter av säkerheten i trafikmiljön. En effekt som man ofta påverkas av är det ljud som alstras av trafik. Detta ljud upplevs av de flesta som mycket störande eftersom man gärna vill ha en lugn och avkopplande miljö i sin omgivning. Då det gäller boendet finns det regler som styr vilka bullernivåer som är acceptabla i boendemiljön. För att åstadkomma en acceptabel miljö ur bullersynpunkt behöver man kontrollera vad det är som påverkar den. Denna kontroll resulterar i värden på bullernivåer i fastigheten. När man känner storleken av bullret kan man föreslå åtgärder för att minska påverkan av den.

Arbetet med att kontrollera vägtrafikbuller utförs ofta av trafikplanerare. Till sin hjälp använder de olika medel i form av kartor, trafikuppgifter och beräkningshjälpmedel. Ett problem som ibland kan uppstå är när ett bra kartmaterial saknas. Detta kan man oftast lösa, men det kan ta tid och vara kostsamt. Man skulle i vissa situationer behöva få geografisk information på ett snabbt, billigt och tillförlitligt sätt.

För att finna en ny metod för detta skapades tanken att utnyttja mätutrustning med laserscanner. Idén till detta har kommit från Gunnar Lannér på Institutionen för vatten miljö transport, Chalmers tekniska högskola och Mats Werner, Flygfältsbyrån. Tanken är att på ett snabbt, enkelt och billigt sätt mäta geografisk data inom område längs gator och vägar. Den geografiska datan skall sedan kunna utnyttjas som underlag för att beräkna vägtrafikbuller.

### 6.2 Problemställning

I arbetet med att utföra beräkning av vägtrafikbuller krävs ett underlag som uppfyller vissa kriterier. Uppfylls inte dessa kan det påverka arbetet på ett negativt sätt. Resultatet skulle ge en bild av situationen som inte är korrekt och inte uppfyller de krav man kan ställa på förhållanden i en boendemiljö.

Metoden att använda fordonsburen laserscanning skall ha vissa grundläggande egenskaper:

- Snabb* Med snabbhet menas den tid det tar att skapa eller inhämta informationen. Tidsfaktorn är viktig i flera avseenden då den påverkar mätmetoden och den planering som krävs i en bullerutredning.
- Enkel* Att metoden är enkel förenklar processen från indatahämtningen tills ett färdigt underlag kan presenteras.
- Billig* Då man inte kan investera stora kostnader för att få ett användbart underlagsmaterial krävs att mätmetoden är billig i förhållande till prestationen.
- Noggrann* För att säkerställa ett korrekt slutresultat från en bullerutredning ställs krav på underlaget. Datan måste uppfylla en bestämd noggrannhet för att kunna användas.

Dessutom skall metoden kunna användas i olika miljöer och mäta det önskade geografiska området, utan att resultatet påverkas i allt för stor utsträckning.

### **6.3 Syfte**

Huvudsyftet med undersökningen är att kontrollera om fordonsburen laserscanning går att använda som indatametod för beräkning av vägtrafikbuller. Indatan som erhålls vid mätning skall bedömas avseende noggrannhet, riktighet och precision. Utöver detta skall även användbarheten samt begränsningar och brister hos metoden studeras.

Utöver analysen av inmätningen skall en utvärdering ske av hur användbart resultatet från inmätning är, med avseende på beräkning av vägtrafikbuller. Beräkning av vägtrafikbuller skall utföras med de metoder och arbetssätt som utnyttjas av trafikplanerare. Då POINT Buller (*CADPOINT 1998*) är en av de senaste datorprogrammen som används för beräkning av vägtrafikbuller kan det vara av vikt att använda POINT Buller i arbetet.

### **6.4 Avgränsning**

Då en specifik metod att skapa indata studeras måste vissa avgränsningar göras. Anledningen till detta är att begränsa omfattningen av det som skall undersökas. Dessutom måste de faktorer som kan påverka resultatet anges.

1. Inga ytterligare mätmetoder utnyttjades för att inhämta underlagsmaterial i syfte att kontrollera mätdatan.
2. För mätningen användes endast utrustning från LKO teknik AB. Utrustningen hade inte förändrats eller modifierats för mätningen.
3. Ingen ytterligare metod användes vid mätningen för att bestämma positionen av mätdatan.
4. Studien omfattar endast Björlandavägen i Göteborg mellan Sommarvädersgatan och Wieselgrensgatan.
5. Endast en mätning har utförts, vilket skedde den 21/12 1999. Vid mättillfället var det klart väder och barmark. Träd och buskar saknade lövverk.

## 7 Inventering av indatametoder

Sättet att samla in data och sedan presentera den kan delas upp i tre delar; insamling, bearbetning och presentation. Sammansättningen och innehållet av delarna bestämmer indatametodens egenskaper. Med kunskap om metodens egenskaper och vad den skall prestera kan man ofta avgöra vilken metod som skall användas vid indatasamling. I processen, från insamling och bearbetning till presentationen av datan, sker påverkan av flera faktorer. Hur de påverkar de olika delarna i processen varierar från metod till metod. För att kunna avgöra vilken metod som skall användas för att samla in geografisk information studeras normalt *geografisk spridning*, *noggrannhet*, *täthet*, *kostnad* och *tid*.

- *Geografisk spridning* innebär att den data man skall samla in finns inom ett bestämt geografiskt område. Områdets utseende och dess storlek är ofta bestämmande egenskaper.
- *Noggrannhet* är ett mått på hur väl man kan bestämma ett objekts läge i rummet. Med hög noggrannhet blir metoden ofta tids- och kostnadskrävande. Det innebär att man måste använda mer tid och resurser för att samla in data om ett specifikt objekt.
- *Täthet* beskriver vilket avstånd det är mellan objekten. Med hög täthet kan man bättre beskriva ett geografiskt område då man har större kännedom om dess egenskaper.
- *Kostnad* är en viktig faktor som ofta kan avgöra valet av metod. Med hög kostnad minskar benägenheten att utnyttja en viss metod.
- *Tid* kan vara en avgörande faktor i vissa avseenden och är ofta sammankopplad med kostnadsfaktorn.

Då den insamlade datan skall bearbetas sker detta i digital form. Datan ligger normalt lagrad i någon form av databas. Man brukar dela upp den geografiska datan i databasen som objekt, geometriska data och attributdata.

### Geografiska data

- Något som finns i verkligheten motsvaras av ett *objekt*
- Objektets läge anges med x- och y-koordinater som är *geometriska data*.
- Dess egenskaper redovisas med *attributdata*.

*Geometriska data* lagras som vektordata eller rasterdata. I en vektordatabas lagras objekt som punkter, linjer och ytor. En linje utgörs av två eller flera punkter och en yta av en eller flera linjer. Utöver lägeskoordinater har varje objekt en kod som beskriver dess typ t e x hus, väg, åker eller skog. Rasterdatabasen beskriver ett geografiskt område med hjälp av ett rutnät. Varje ruta i rutnätet kallas bildpunkt eller pixel. Detta är den minsta beståndsdel i databasen. Varje ruta har en viss egenskap som beskriver den dominerande egenskapen hos den yta rutan täcker. *Attributdata*, som kan finnas i vissa databaser, innehåller beskrivande information om ett objekt. För ett hus eller fastighet kan det vara fastighetsbeteckningen och för en väg kan det vara vägnummer.

Valet av indatametod börjar med en värdering av urvalsfaktorerna. Här bedöms varje faktor för sig och viktas mot varandra. Därefter görs en sammanställning av alla ingående faktorer. Den eller de faktorer som är mest avgörande för valet av metod avgör sedan slutresultatet. Hur denna process ser ut varierar ofta från fall till fall. Det är av vikt att vara noggrann vid denna

utvärdering. Görs en felbedömning i detta skede av arbetet kan det påverka processen vid indatasamlingen och man får inte önskat resultat.

För att få en uppfattning av vilka metoder som finns att tillgå har en sammanställning av de vanligaste indatametoderna gjorts. Denna sammanställning utger sig inte för att vara en komplett sammanställning av tillgängliga metoder utan är ett urval av det som finns tillgängligt.

## **Indatametoder**

- Kartmaterial –Lantmäteriverket  
–Kommuner
- Flygfotografering
- Satellitbilder
- Flygburen laserscanning
- Fältmätning
- Digitalisering/Scanning av kartor

### **7.1 Kartmaterial**

#### **7.1.1 Lantmäteriverket**

Lantmäteriverket är idag den myndighet som förser samhället med allmänt kartmaterial och flygbilder. Kartorna används för en rad olika verksamheter. Flygbilderna används vid framställning av allmänna kartor, stadskartor och orienteringskartor. Kartorna finns idag både som tryckta kartor eller i digital form. De allmänna kartorna kallas de officiella kartorna i Sverige. De ges ut i olika serier beroende på användningsområde och skala. Den digitala kartinformationen kan användas i en mängd olika områden. Man kan använda den för att titta på eller låta den ingå i något geografiskt informationssystem (GIS). Den geografiska informationen lagras i databaser som utgör geometriska beskrivningar av landskapet. Lantmäteriets geografiska databaser med grundläggande, lägesbestämd landskapsinformation kallas geografiska sverigedata (GSD). GSD omfattar i första hand information som normalt presenteras på de allmänna kartorna t e x Gröna och Röda kartan.

Alla GSD databaser har koordinater angivna i rikets nät. Det är ett koordinatsystem bestående av ett plant rutnät som täcker hela Sverige. Rikets nät används för att ange x- och y-koordinater och bladbeteckningar.

För datainsamling av objekten i GSD-baserna har följande metoder använts.

- Fotogrammetrisk inmätning med flygbilder
- Digitalisering av analoga produkter där kartografisk generalisering eller undantagshållning kan ha gjorts.
- Inmätning med geodetiska instrument

Beroende på vilket befintligt underlagsmaterial som finns varierar datainsamlingen. För ungefär halva landet sker en fotogrammetrisk kartering av vägnät, bebyggelse och överordnat

kraftledningsnät med hjälp av flygbilder. Utöver detta digitaliseras informationen med stöd av ortofoto eller aktualiserade deloriginal med ortogeometri. Detta kompletteras med fältarbete.

För att kunna skapa terrängmodeller finns hos lantmäteriverket olika databaser. GSD höjddatabanken och GSD höjdkurvor med 5, 10 och 25 meters ekvidistans. Det som skiljer höjddatabanken från höjdkurvorna är i första hand innehållet.

### ***Höjddatabanken***

Höjddatabanken består av höjdvärden i ett rutnät med 50-meters sida. Dessa är lagrade i baser som var och en omfattar en ruta om 5x5 km. Höjdvärdena anges i meter med en decimal och har ett medelfel i höjd på 2,5 meter. Höjddatabanken täcker hela riket och följer den Ekonomiska kartans indelning.

### ***Höjdkurvor med 5 meters ekvidistans***

Höjdkurvor med 5 meters ekvidistans är framtagna från Ekonomiska kartan, Gula kartan och Gröna kartan. Genom att scanna kurvoriginalen till de allmänna kartorna i skalområdet 1:10 000 – 1:50 000 har höjdkurvor genererats. Då arbetet med att föra över de analoga kurvoriginalen till digital form påbörjades 1986 och inte beräknas vara klart förrän i början av 2000-talet saknas täckning för hela landet.

### ***Höjdkurvor med 10 meters ekvidistans***

Höjdkurvor med 10 meters ekvidistans är framtagna utifrån data hämtade från GSD-Höjddatabanken samt höjddata från Finland och Norge. Baserna består av 10 meters höjdkurvor förutom i fjällen där ekvidistansen av kartografiska skäl är 20 meter. Arbetet med baserna påbörjades 1992 och beräknas vara klart 2002.

### ***Höjdkurvor med 25 meters ekvidistans***

Höjdkurvor med 25 meters ekvidistans är också framtagna utifrån data hämtade från GSD-Höjddatabanken samt höjddata från Danmark, Finland och Norge. Arbetet med baserna påbörjades 1995 och beräknas vara klart hösten 1997.

## **7.1.2 Kommuner**

Hos kommunerna i Sverige har man geografisk information i olika omfattning över kommunområdena. Detta kan vara olika beroende på kommunens storlek. I en större kommun som Göteborgs kommun har man överfört hela kommunens kartmaterial till digital form. Detta material uppdateras regelbundet och har god noggrannhet. Kartmaterialet kan utnyttjas till en mängd olika saker då den kan överföras till olika dataformat. Genom att kartmaterialet finns i digital form kan allt arbete med materialet förenklas på många sätt. I och med att datorer utnyttjas mer och mer i olika sammanhang kan man bespara mycket arbete vid indatasamling, då materialet redan finns digitalt. Exempel på detta kan vara för olika former av byggverksamhet, planering inom kommunen, användning av GIS m m.

Inom mindre kommuner har man kanske inte samma möjlighet som hos en stor kommun att överföra kommunens kartmaterial till digital form. Det kan vara så att uppdateringen av kartmaterialet inte sker regelbundet utan mer sällan eller att det varierar på hur bra kartmaterialet är i olika delar av kommunen. Inom centralorter är det förmodligen bättre material än i de mindre

tätbefolkade delarna. Sammantaget är det kanske svårt att få fram precis det underlag man behöver i en mindre kommun utan att behöva utföra någon form av kompletterande mätning. Hur den mätningen ser ut beror på situationen.

## **7.2 Flygfotografering**

För att få ett kartunderlag idag är flygfotografering den vanligaste metoden (*Nordisk Vägteknisk Förening [NVF], 2000*). Fotografierna som tas är normalt analoga (film) och från dem framställs diapositiv som används i det vidare arbetet. Filmen eller diapositiven kan även scannas för att få digitala bilder.

Tekniken med att mäta i bilder och framställa kartor kallas fotogrammetri och att tillverka kartor med hjälp av flygbilder kallas fotogrammetrisk kartframställning. För att kunna tillverka kartor används olika utrustning beroende på vilket underlag man har. Används analoga bilder (diapositiv) som underlag utnyttjas ett analytiskt stereoinstrument. Är bilderna digitala används en digital fotogrammetrisk arbetsstation.

Mätningen i bilderna går ut på att digitalisera samma punkt i två överlappande bilder (stereomodell). Vid digitaliseringen mäts koordinater i båda bilderna. Koordinaterna räknas sedan om till terrängkoordinater. För att kunna göra omräkningen måste man känna till bildernas position och orientering i terrängkoordinatsystemet. Positionen och orienteringen av varje bild bestäms med hjälp av mätta passpunkter på marken.

Noggrannheten beror på bildstorleken (flyghöjden) och hur synliga de objekt är som skall mätas i bilderna. Vid normala förhållanden kan man räkna med en noggrannhet på 0,010-0,020 mm mätt i bilden. Detta motsvarar 0,05-0,10 m i skala 1:5000. Man kan med mycket bra definierade punkter i en bild uppnå en noggrannhet av 0,005 mm mätt i bilden.

Normalt används fotogrammetri i huvudsak för att tillverka kartor i skala 1:1000 – 1:50 000 samt för terrängmodeller.

## **7.3 Satellitbilder**

För att samla in data med satellit används två olika tekniker (*NVF, 2000*). Optiska sensorer (multispektrala sensorer) eller radar. De multispektrala sensorerna registrerar energin eller strålningen som reflekteras från jorden i olika frekvenser, medan radarsatelliterna registrerar energin som sänds ut i mikrovågsfrekvenser.

De mest använda satelliterna är de amerikanska LANDSAT och de franska SPOT. Det finns 5 LANDSAT-satelliter och 3 SPOT-satelliter i omlopp runt jorden.

För satellitbilder är det vanligast att fotografering och bildöverföring sker digitalt. Digitala bilder är lättare att förbereda med tanke på tolkning eller presentation och det finns möjlighet att utföra omfattande behandling för avancerad analys. För att kunna se en digital bild måste den först konverteras till analog format, t e x som en videobild eller en filmplott. Tolkning av digitala bilder sker vanligtvis via en grafisk skärm på en dator.

Normalt mäter en satellitsensor i flera våglängdsområden (spektrala band) samtidigt. Varje bildpunkt får då ett värde för varje spektralt band som motsvarar strålningen från jordytan i dessa

våglängdsområden. Från datan kan sedan bilder skapas för varje kanal och bilderna kan därefter behandlas var för sig eller kombineras. Inom fjärranalys är det vanligt att beskriva den elektromagnetiska strålningen vid våglängdens placering i det elektromagnetiska spektrat. Synligt ljus upptar endast en liten del av spektrat (0,4-0,7 mikrometer). Utöver detta finns det infraröd strålning (IR) (0,7-1,3 mikrometer) mellan-IR (1,3-3 mikrometer) och termisk-IR (över 3 mikrometer). Strålning mellan 1 mm och 1 m utgör mikrovåglängdsområdet. De flesta fjärranalyssystem opererar inom ett eller flera av områdena synlig-, IR- eller mikrovåglängd.

Digitala bilder från satelliter innehåller bara indirekt information om vad som finns på jordytan. Den direkta informationen i en fjärranalysbild kallas radiometrisk. Vid användning av flera spektrala band pratar man om multispektral information. Vid klassificering av satellitbilder vill man gärna knyta informationen från jordytan till klasserna. Det är därför nödvändigt att knyta samman informationsklasserna med de spektrala klasserna i bilderna. De två sätten att koppla de spektrala klasserna till informationsklasserna kallas styrd och ickestyrd klassificering.

Noggrannheten hos satelliterna är olika. För Landsat-5 kan Thematic Mapper (TM), som är en av två sensorer på Landsat-5, ta en bild av jordytan som täcker 185×185 km. Den geometriska upplösningen för TM, dvs den yta på marken som täcks av ett bildelement i den digitala bilden, är 30×30 m. Den radiometrisk upplösningen är 8 bitar dvs att varje bildelement har ett gråtonsvärde mellan 0-255 för varje våglängdsområde(band). TM-sensorn har 7 band. För SPOT satelliterna är den geometriska upplösningen 10×10 m. SPOT-5 är planerad för en upplösning på 5×5 m inom det pankromatiska området. Det finns möjlighet att få bilder med högre upplösning. B1 a SPIN-2 från den ryska Cosmossatelliten, där man som bäst kan få upplösningar på 2×2 m.

#### **7.4 Flygburen laserscanning**

Det finns idag även utrustning för att mäta in från luften i realtid. Ett sådant system är den flygburna lasermätutrustningen. Det finns flera olika tillverkare och utförande, men tekniken är i princip den samma. Utrustningen är uppbyggd kring en laseravståndsmätare som scannar markytan under flygvägen hos ett flygplan eller helikopter. Ett av systemen som finns på marknaden är Saab TopEye (*Saab Survey Systems AB, 1997*). För att beskriva tekniken med flygburen laserscanning har Saab TopEye använts som exempel.

Systemet är uppbyggt av följande delar:

- Luftburen utrustning
- Referensstation
- Uppdragsplaneringsystem
- Efterbehandlingssystem

Mätningen av punkter på marken baseras på positionen av helikoptern (flygplanet) och avståndet mellan den och marken. För att bestämma helikopterns position med hög noggrannhet används något som kallas "On The Fly Kinematic Differential GPS (OTF DGPS)", som stöds av ett tröghetsnavigeringssystem. OTF DGPS baseras på en referensstation som vid inmätning samtidigt lagrar GPS data.



Avståndet mellan helikoptern och marken mäts med en laseravståndsmätare, där avståndet mäts 6000 gånger per sekund. Laserstrålen scannar av flygvägen under helikoptern då den rör sig framåt, vilket resulterar i en zigzag-formad mätyta. Utöver detta finns även videokameror monterade på helikoptern för att registrera det inmätta området. Då varje bildruta tidkodas kan de koordineras med inmätt data.

Planeringen av inmätningen görs i förhand med hjälp av uppdragsplaneringssystemet. Det består av en pc med tillhörande programvara där flygvägar och styrinformation för piloten ges. Utöver detta används uppdragsplaneringssystemet för att ange kontrollkommandon, inställningar för lasern och andra system.

All information vid mätning lagras på databand. Med information från sensorer, GPS i helikoptern (flygplanet) och i referensstationen kan de inmätta punkterna beräknas i efterbehandlingssystemet. Resultatet från detta blir mätfiler med punkter som innehåller information om x-, y-, z-koordinat, tid, kvalitet samt tidkodade kamerapositioner och flyglägesdata. Beroende på vilken typ av plattform som används för systemet får man olika resultat. Med helikopter kan man mäta med en punkttäthet av 1 till 15 per m<sup>2</sup> och med flygplan 1 till 16 per m<sup>2</sup> beroende på hur mätningen utförs. Med angivna värden på punkttäthet ger det möjlighet att mäta 1-100 km<sup>2</sup>/h. För mätningarna gäller en standardavvikelse av 0,10-0,30 m i höjd.

### **7.5 Fältmätning**

Fältmätning är en traditionell metod för att mäta geografisk data (NVF, 2000). Det finns flera olika typer av instrument som man kan använda beroende på vad som skall mätas. För de flesta mätuppgifter används totalstationer, som finns i olika utförande för både enmans- eller tvåmansanvändning. Vid mätning med totalstation består utrustningen normalt av instrument, stativ för instrumentet och mätstång med reflektor (prisma).

Mätningen går ut på att mäta avstånd och riktning. Avståndet mäts med hjälp av ljus, oftast IR, som reflekteras mot ett prisma. Det finns instrument som kan mäta avstånd utan att använda prisma. Till avståndsmätningen mäts riktningen i form av horisontal- och vertikalvinkel. Mätningen av avstånd och riktning bildar underlag för att bestämma koordinaterna eller positionen för en punkt. Koordinaterna kan bestämmas i realtid eller vid efterbehandling. Normalt är totalstationerna utrustade med mjukvara som möjliggör nödvändiga beräkningar i fält.

Det är stor skillnad på noggrannheten för olika typer av instrument. Avstånd kan mätas med en noggrannhet inom mm-området. Horisontal- och vertikalvinklar kan mätas med en noggrannhet på 0,0001 gon. Detta gör det möjligt att bestämma en position med en standardavvikelse på några få mm.

Totalstationer används huvudsakligen för insamling av data som kräver stor noggrannhet. Totalstationer används också som komplettering av fotogrammetrisk kartläggning av områden med dålig insyn exempelvis tät skog eller för mindre områden, där fotogrammetrin inte kan konkurrera prismässigt.

## 7.6 Digitalisering/Scanning av kartor

Digitalisering av kartor kan utföras som manuell digitalisering eller som automatisk digitalisering (scanning) (Pettersson, 2000).

Vid manuell digitalisering används ett digitaliseringsbord kopplat till en dator. Ett digitaliseringsbord är en skiva med ett pekdon (mus) kopplat till. Då pekdonet förs över skivan känner skivan av var pekdonet befinner sig. Genom att placera en analog karta på digitaliseringsbordet och markera kända punkter på kartan med pekdonet kan kartans koordinater kopplas till datorn. Om operatören följer linjerna på en analog karta med pekdonet kan linjerna digitaliseras genom att välja ett antal punkter längs linjen. Operatören anger vilka punkter som skall lagras i datorn och representera kartan. Operatören kan även ange koder för den digitaliserade datan. Några av fördelarna med denna metod är att den kan utföras på dokument av dålig kvalitet och att operatören kan göra bedömningar under arbetets gång. Några av nackdelarna är att det är tidskrävande och resultatet påverkas av operatörens skicklighet och koncentration.

Automatisk digitalisering eller scanning är en teknik för att lagra bildinformation digitalt. Med en scanner läses den bild man vill spara av optiskt och lagras som rasterdata. Rasterdata beskriver en yta genom att den delas upp i ett regelbundet rutnät, där rutorna brukar kallas bildpunkter eller pixlar. Rasterbildens geometriska upplösning anger tätheten på rutnätet och uttrycks antingen som pixelstorlek ( $\mu\text{m}$ ) eller som antalet punkter per längdenhet (punkter/mm eller punkter/tum (engelska: dpi, dots per inch)). Varje pixel innehåller information om just sin yta och kan representera en färg, höjd eller annan egenskap. Begränsningen av rasterbilden är hur tätt pixlarna befinner sig.

Beroende på vad den scannade bilden skall användas till, kan man behandla rasterdatan på olika sätt. Man kan använda rasterdatan som den är eller bearbeta den ytterligare. Från rasterdata kan vektordata genereras genom så kallad vektorisering. Vektoriseringen av rasterdata kan ske som manuell bildskärmsvektorisering, halvautomatisk bildskärmsvektorisering och automatisk vektorisering. Vid manuell bildskärmsvektorisering visas rasterbilden på en bildskärm och operatören följer linjer som vid digitalisering. Halvautomatisk bildskärmsvektorisering är en process där operatören markerar en startpunkt för en linje i rasterbilden och därefter låter programmet följa linjen. Programmet avbryter då den når en förgrening, linjeslut eller startpunkt. Här får operatören välja i vilken riktning programmet skall fortsätta. Den automatiska vektoriseringen sköter programmet själv och operatören behöver endast kontrollera resultatet. För och nackdelar med dessa metoder är ungefär som med digitalisering, dock går arbetet snabbare med högre grad av automatisering. Nackdelen med hög automatisering kan vara det efterarbete som behöver göras för att justera resultatet.

## 7.7 Sammanställning av indatametoder

Studerar man de metoder som har presenterats ser man att de har olika för- och nackdelar. För att lättare se varje metods egenskaper har dessa angivits i kort form.

<i>Lantmäteriverket</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>+ Geografisk täckning</li><li>Lättåtkomlig</li><li>Olika dataformat</li><li>- Varierande noggrannhet</li><li>Kan vara dyr</li><li>Underlag kan saknas i vissa fall</li></ul>
<i>Kommuner</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>+ Geografisk täckning</li><li>Lättåtkomlig</li><li>- Varierande noggrannhet</li><li>Underlag kan saknas i vissa fall</li></ul>
<i>Flygfotografering</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>+ Flexibel</li><li>Bra noggrannhet</li><li>Förhållandevis snabb</li><li>- Kan vara kostsam</li><li>Kan ta tid</li></ul>
<i>Satellitbilder</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>+ Geografisk täckning</li><li>Snabb</li><li>Ger mycket information</li><li>- Dålig noggrannhet</li></ul>
<i>Flygburen laserscanning</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>+ Flexibel</li><li>Bra noggrannhet</li><li>Täcker stora geografiska ytor</li><li>- Kostsam</li><li>Begränsat urval av data</li></ul>
<i>Fältmätning</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>+ Noggrann</li><li>Klarar de flesta mätsituationer</li><li>Flexibel</li><li>- Kan vara dyr vid mätning av stora ytor</li><li>Långsam</li></ul>
<i>Digitalisering/ Scanning av kartor</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>+ Snabb</li><li>Billig</li><li>Kan utnyttja underlag av dålig kvalitet</li><li>- Beroende av underlagsmaterialet</li><li>Noggrannheten varierar</li></ul>

Resultatet från inventeringen av indata metoder är att det finns flera metoder som uppfyller delar av kraven som tidigare ställts. Svårigheten är att finna en metod som uppfyller samtliga krav. Med detta i åtanke förefaller det finnas ett behov av en alternativ mätmetod. Denna metod skulle kunna vara tekniken att utnyttja fordonsburen laserscanning. Då det är svårt att bedöma dess för- och nackdelar, kan paralleller dras till metoden med flygburen laserscanning. Eftersom den bygger på liknande teknik kan dess egenskaper utnyttjas för en första bedömning. De egenskaper som metoden med fordonsburen laserscanning bedöms ha är:

<i>Fordonsburen laserscanner</i>	+	Flexibel
		Enkel
		Billig
	-	Obeprövat
		Begränsat urval av data
		Osäkerhet om begränsningar vid mätning
		Osäkert om noggrannheten

## 8 Mätmodell

För att få en större förståelse för hur tekniken med laserscanning fungerar följer en allmän förklaring om laser, lasermätteknik och de olika mätmetoder som finns. Beskrivningen är allmänt hållen för att inte bli för detaljerad.

### 8.1 Lasermätteknik

Laser är en förkortning av engelskans Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, vilket betyder ljusförstärkning av stimulerad strålningsemission. Det innebär att man förstärker en ljuspuls genom att stimulera ljusets strålning.

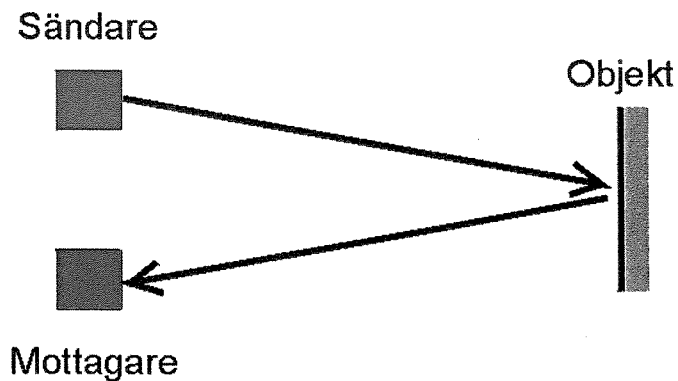
Laser har flera olika egenskaper. En är att ljuset är absolut koherent d v s att det går i en exakt rak linje. Koherent ljus betyder att ljuset har samma frekvens och att ljuset inte har någon inbördes fasförskjutning. Jämför man laserljuset med ljuset från en glödlampa sprids det vanliga ljuset från glödlampan åt alla håll. En annan egenskap är att laserljusets är polariserat eller "filtrerat". Man kan säga att laser är koncentrerat ljus, ungefär som när man koncentrerar solstrålar med ett förstöringsglas. Har man en mycket intensiv laserstråle kan den också vara farlig. Man skall vara försiktig vid användningen med laserljus, då man kan bränna hål på hornhinnan om man lyser någon rakt in i ögonen med en laserstråle.

Tekniken med laser används inom en mängd olika områden. De flesta människor använder sig av lasertekniken nästan dagligen. Den används i CD-spelare för både avlyssning av musik och i datorer, inom medicin där vissa former av ingrepp utnyttjar laser samt för mätning av olika objekt.

Tekniken med laserscanning är en utveckling av lasertekniken för mätning. Genom att använda laser för avståndsmätning kan mätningen bli mycket exakt. Mätmetoden går ut på att man mäter tiden som laserstrålen behöver på sig att reflekteras tillbaka till utgångspunkten. Utifrån den tiden kan man sedan räkna fram sträckan eftersom ljusets hastighet är konstant.

Det finns idag tre olika metoder att mäta avstånd med hjälp av laser; triangulering, fasjämförande och pulslöptidsmätning.

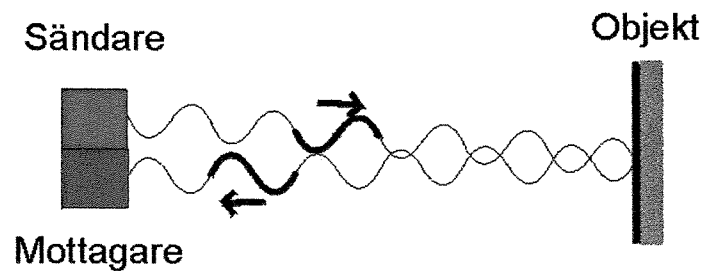
### Triangulering



Figur 8:1 Principbild för avståndsmätning med triangulering.

Vid triangulering med laser mäts basen i en spetsig triangel vars spets ligger i målet. Genom att belysa objektet med en laserstråle bildas en spot  $d$  v s den ytan som belyses av laserstrålen vid mätning. Det ljus som reflekteras från objektet mottags av en detektor som känner igen positionen. Genom att känna avståndet mellan sändare och mottagare samt registrera när reflektion uppstår kan avståndet beräknas. Denna typ av mätteknik används främst vid kortare avstånd, 1 mm – 1 m.

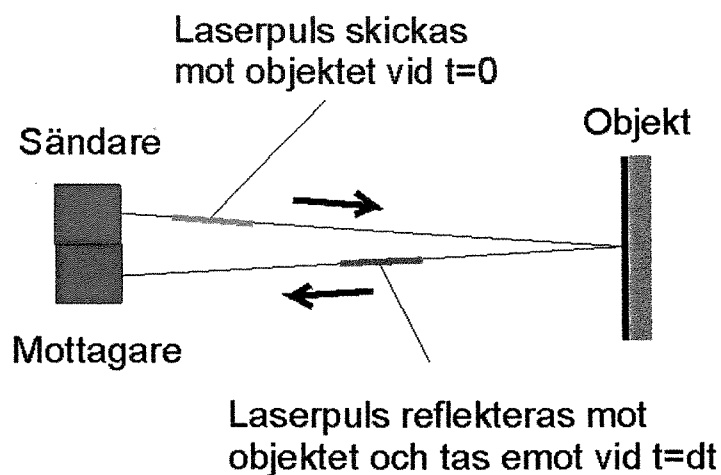
### Fasjämförande



Figur 8:2 Principbild för fasjämförande avståndsmätning.

Ljuset som skickas ut amplitudmoduleras vilket innebär att man mäter fasskillnaden mellan det utgående ljuset och det av mätobjektet återreflekterande ljuset. Detta fungerar bra då man använder sig av en reflektor, men resultatet varierar beroende på objektets yta och hur reflektionen sker. Mätavstånd är mellan 50 mm – 10 km.

### Pulslöptidsmätning



Figur 8:3 Principbild för avståndsmätning med pulslöptidsmätning.

Genom att skicka en laserpuls mot ett objekt och mäta hur lång tid det tar för pulsen att gå till mätobjektet och tillbaka (tidsskillnad =  $dt$ ) kan man mäta avståndet till objektet. Noggrannheten hos systemet beror på hur pulsen utformas samt hur noggrant tidsmätningen sker. Felet är oberoende av avståndet  $d$  v s på 10 m avstånd är det 10% och på 500 m 0,2 %. Räckvidden hos systemet avgörs av laserpulsens reflektion på mätobjektet. Mätavstånd är mellan 5 m – 5 km.

## 8.2 Laserscanner

Det finns idag flera olika fabrikat och modeller av laserscanners. I denna undersökning har utrustning från LKO Teknik AB använts. Laserenheten är tillverkad av IBEO Lasertechnik i Hamburg, Tyskland. IBEO tillverkar olika typer av laserinstrument varav LADAR (Laser Radar) 2D-B1 är en (se figur 8:4). LADAR 2D-B1 är en laserscanner som kan användas antingen för direkt information eller för att styra andra system. Den kan utnyttjas för navigering och kollisionsvarning (kranar och robotar), dockningskontroll (flygplan och fartyg), processkontroll (volymmätning) och mätning av tunnelprofiler. Den klarar av att mäta mot ett stort antal olika material från gummi och trä till betong, plast, metaller och mineraler. LADAR 2D-B1 görs i tre olika utförande beroende på vilket mätavstånd de skall användas till. I tabell 8:1 visas hur mätavståndet varierar för de olika modellerna av instrumentet. Beroende på vilken färg objektet som skall mätas har ger det olika grad av reflektion. Vid hög reflektion (90%) är det lättare att mäta än vid låg reflektion (18%).



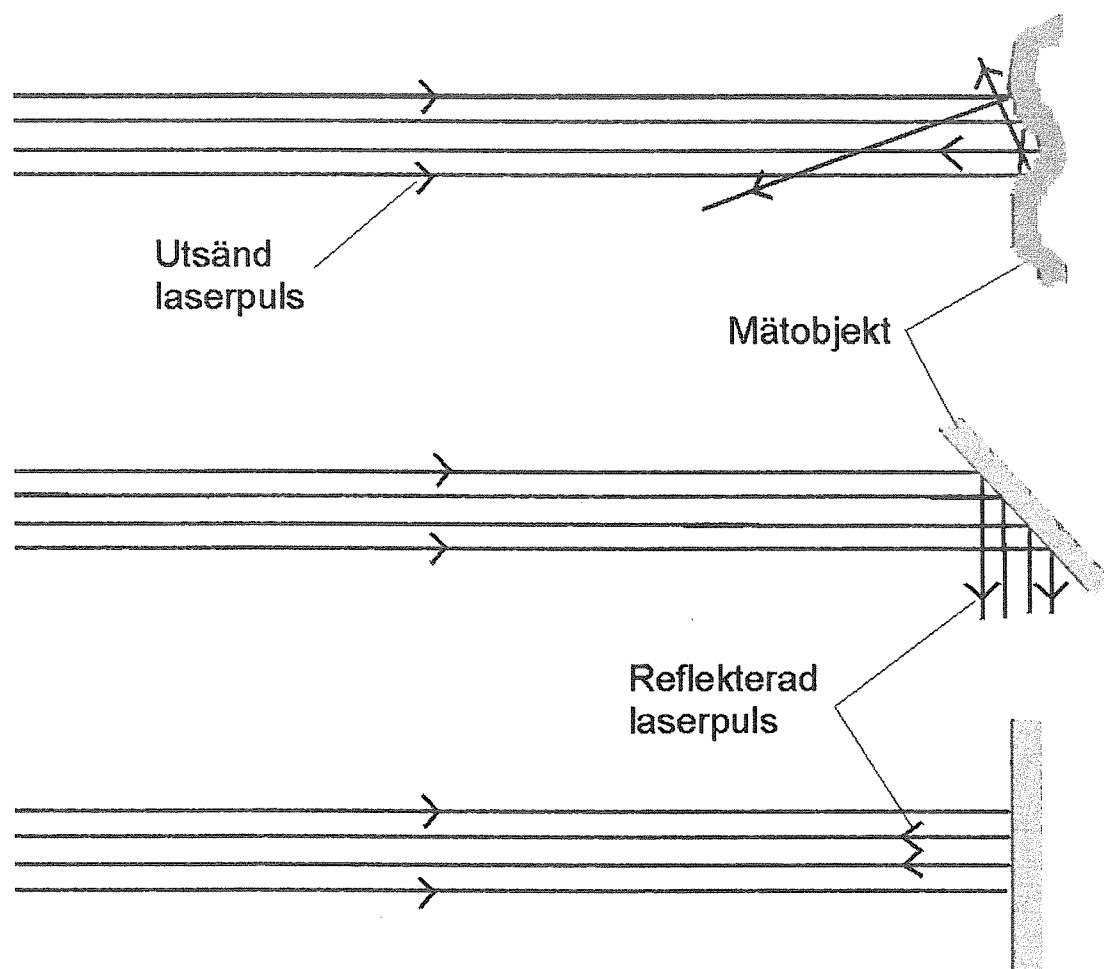
Figur 8:4 LADAR 2D-B1 (IBEO).

Tabell 8:1 Mätgränser för LADAR 2D-B1 (IBEO, 1994)

Objekt		Reflektion	Avstånd (m)		
			Typ		
Kodak grey Card (Kodak CAT 152 7795)			/30	/40	/50
Vit	Max	90%	≥30	≥40	≥100
	Min	90%	0.5	2	4
Grå	Max	18%	≥15	≥20	≥50
	Min	18%	0.5	2	8

LADAR 2D-B1 utnyttjar tekniken med pulslöptidsmätning. Då man mäter på olika objekt fås varierande mätavstånd. För mätning med prisma är gränsen 20 000 m, med reflexer från objekt 1000 m och mot naturliga objekt 100 m. Då LADAR 2D-B1 utnyttjar en teknik där flera laserstrålar skickas i samma puls är sannolikheten för reflektion större samtidigt som man får ett medelvärde till den mätpot som laserpulsen träffar. Vid lasern är mätstrålen 4 cm i diameter vilket ger en mätpot som är 10-20 cm i diameter. Beroende på hur ytan ser ut på mätobjektet erhålls olika resultat vid reflektion och vad som registreras av lasern (se figur 8:5).





Figur 8:5 Olika mätsituationer.

Vid mätning deflekteras den emitterade laserpuls, dvs studsar på en roterande spegel innan den sänds ut. Den utsända pulsen reflekteras på mätobjektet och tillbaka till lasern, där den återigen deflekteras mot den roterande spegeln innan den registreras. Lasern skickar sedan information om resultat till den enhet som skall registrera mätningen. Mätsektorn som lasern klarar av att mäta är  $\frac{3}{4}$  av en cirkel ( $270^\circ$ ) med en vinkel av  $0,6^\circ$  mellan mätpunkterna.

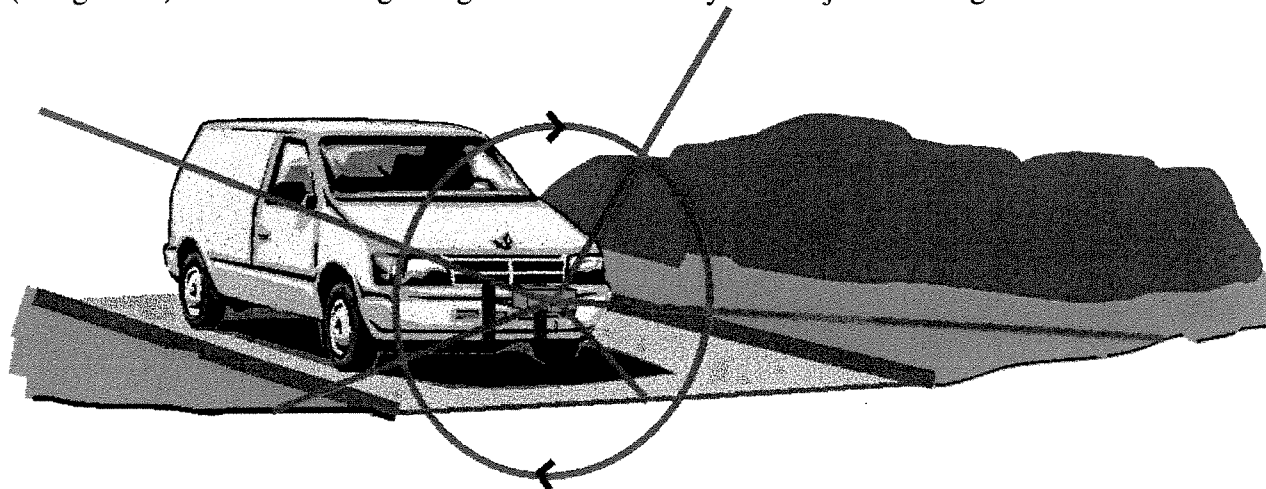
I och med att lasern roterar 8 varv per sekund fås en överlagring av samma mätpunkt 8 gånger per sekund. Då lasern mäter 3600 punkter per sekund skulle mätdatan bli alldeles för stor. För att få mer hanterbar data utförs en medelvärdesberäkning av datan från 40 scannningar. Med dessa förutsättningar fås enligt LKO teknik AB följande beräknade noggrannhet med mätutrustningen på mätavstånd mellan 0,6 – 30 m (se tabell 8:2).

Tabell 8:2 Beräknad noggrannhet med mätutrustning från LKO teknik AB (LKO, 1998)

Antal scanningar	Standardavvikelse	Maximal avvikelse
1	+/- 18 mm	+/- 67 mm
4	+/- 9 mm	+/- 40 mm
10	+/- 6 mm	+/- 28 mm
20	+/- 4 mm	+/- 19 mm
80	+/- 3,2 mm	+/- 16 mm

Enligt LKO teknik AB ligger ungefär 90 % av all mätning inom standardavvikelsen och genom att använda kalibreringsutrustning elimineras den maximala avvikelsen.

För att kunna utnyttja laserutrustningen på ett enkelt och smidigt sätt, har LKO teknik AB valt att montera den i ett fordon. Fordonets utrustning varierar beroende på användningsområde där huvuddelen av uppdragen har varit att utföra hindermätning längs järnväg. Hindermätningen har omfattat både tunnelmätning och mätning längs sträcka, där utrustningen har varit monterad på en specialbyggd bil som kan använda järnvägsrälsen för att förflytta sig. I och med att järnvägsrälsen används för att förflytta mätbilen har man samtidigt kunnat utnyttja rälsens läge för lokalisering av den inmätta informationen. Till hjälp för detta används bland annat en trippmätare (odometer). Utöver trippmätaren används lutningssensorer för kompensation av fordonets lutning i längd och sida. Normalt är lasern monterad på en ställning framtill på fordonet (se figur 8:6). Denna ställning medger att lasern kan flyttas i höjd och i längd.

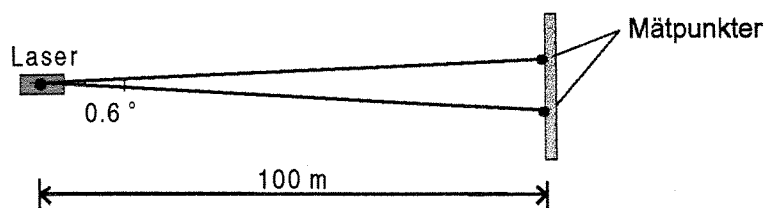


Figur 8:6 Mätning med fordonsburen laserscanning.

### 8.3 Mätbegränsning

För att få en uppfattning av vilket resultat man kunde vänta sig från mätningen gjordes några teoretiska studier av mätmetodens förutsättningar. Dessa studier skulle kunna förklara varför mätdata ser ut som den gör och förutsäga vilken mätnoggrannhet utrustningen förväntas ha. I första skedet kontrollerades hur tät mätdata lasern generellt ger. Därefter applicerades denna information i en tänkt mätsituation. Med resultat från denna gjordes en jämförande studie med andra förutsättningar. Syftet med att förändra förutsättningarna var att se hur det påverkar resultatet.

För att kontrollera laserenheten ansattes de förutsättningar utrustningen ger. Vid mätning med lasern roterar den med  $0.6^\circ$  vinkelskillnad mellan två mätpunkter. Om mätningen skulle ske på 100 m avstånd i radiell ledd d v s att mätpunkterna befinner sig med 100 m radie från lasern, hur stort skulle avståndet bli mellan de två mätpunkterna? Se figur 8:7.



Figur 8:7 Hur  $0.6^\circ$  vinkelskillnad påverkar tätheten mellan mätpunkter vid mätning med laserscanner.

Med uppgifterna på vinkelskillnad och avstånd mellan lasern och mätobjektet fås följande resultat för mätnoggrannheten enligt förutsättningarna.

<p>Vinkel mellan mätpunkter <math>\varphi = 0,6^\circ</math></p> <p>Avstånd mellan laser och mätpunkt <math>L = 100</math> m</p> <p>Vinkel mellan mätpunkt i radianer, <math>\varphi</math> blir : <math>\varphi \times \frac{\pi}{180^\circ} \rightarrow</math></p> <p><math>\varphi = 0,6 \times \frac{\pi}{180^\circ} = 0,010472</math> radianer</p> <p>Avståndet mellan mätpunkterna blir : <math>\varphi \times 100 = 1,047</math> m</p>
---

Att beakta avseende resultatet är att avståndet 1,047 m mellan mätpunkterna endast gäller vid radiell mätning. Skulle man istället mäta med samma vinkelskillnad, fast ytan som skall mätas har en flack vinkel i förhållande till lasern, skulle avståndet mellan mätpunkterna bli större. Det optimala fallet vid mätning är då det som skall mätas befinner sig i radiell vinkel mot lasern.

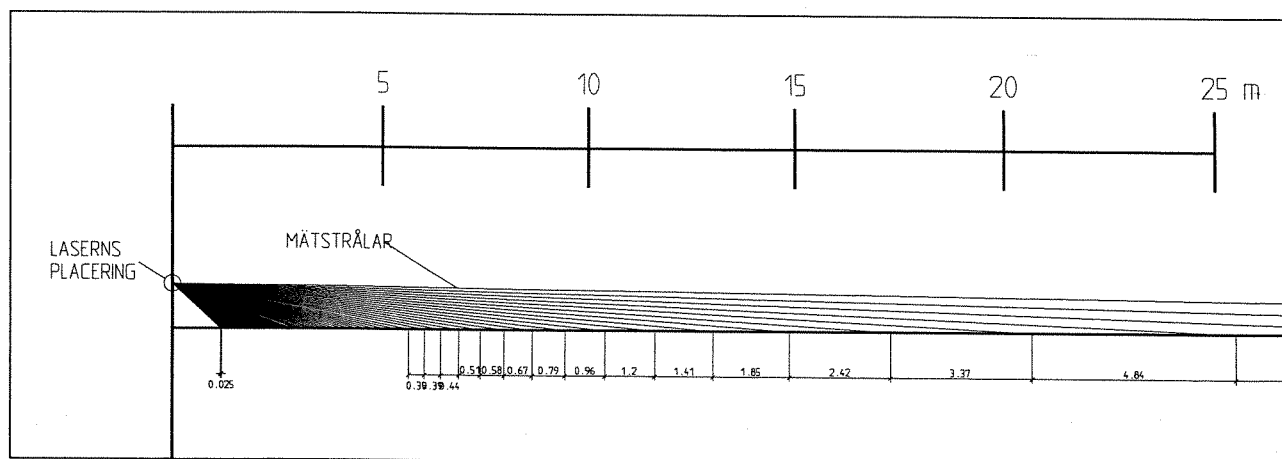
Då denna undersökning syftar till att kontrollera hur en laser skulle kunna utnyttjas för att mäta in områden längs en väg uppstår naturligtvis frågan – Hur påverkas mätningen av om det som skall mätas inte befinner sig på radiellt avstånd från lasern ?

För att belysa detta har några figurer tagits fram som visar hur en fiktiv mätning av en tvärsektion kan se ut. Utgångsvärden för detta har varit följande:

#### Förutsättningar

- En laser som mäter med  $0,6^\circ$  vinkelskillnad
- Att lasern befinner sig 1,1 m över markytan (monterad på ett fordon)
- Lasern är placerad så att den täcker allt utom en  $90^\circ$  sektor mot markytan
- Markytan är horisontell d v s utan lutning eller hinder.
- Maximalt mätavstånd är 100 m

Med dessa förutsättningar gjordes en uppritning i AutoCAD (se figur 8:8).



Figur 8:8 Hur tätheten mellan mätpunkter varierar med avståndet (teoretiskt).

När allt var uppritat mättes avstånden för mätpunkterna. Dels avståndet från lasern och dels differensen mellan punkterna (se tabell 8:3).

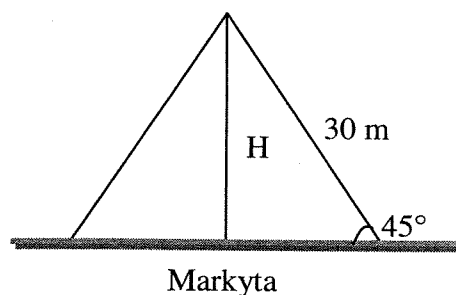
Tabell 8:3 Täthet mellan mätpunkter då lasern är placerad 1,1 m över markytan (teoretiskt)

Mätavstånd från lasern (m)	Differens (m)	Mätavstånd från lasern (m)	Differens (m)
1,10	-	8,65	0,67
1,12	0,02	9,44	0,79
Ingen redovisning av data		10,40	0,96
		11,60	1,20
5,09	-	13,01	1,41
5,35	0,26	14,86	1,85
5,66	0,31	17,27	2,41
6,05	0,39	20,64	3,37
6,44	0,39	25,48	4,84
6,88	0,44	33,50	8,02
7,39	0,51	48,86	15,36
7,98	0,59	93,70	44,84

Studerar man siffrorna ser man att vid cirka 10 m avstånd från lasern är avståndet mellan de mätta punkterna mellan 0,80 – 1,0 m. Med ökat avstånd från lasern ökar differensen mellan mätpunkterna. 25 m från lasern är avståndet mellan mätpunkterna ungefär 5 m. Den sista mätpunkten är 93,70 m från centrumlinjen med nästan 45 m differens till föregående punkt. Denna information visar att man snabbt får en försämrad täthet mellan mätpunkterna på avstånd över 15 m. Trots att detta endast är en teoretisk studie, kan man med hjälp av de siffror som presenteras få en uppfattning om vilka resultat man kan förvänta sig vid en mätning. Då denna studie endast har belyst de fall då den inmätta ytan är horisontell kan det vid praktisk användning vara så att markytan eller det inmätta objektets beskaffenhet möjliggör mätning med bättre/sämr

resultat än vad som redovisas här. Är det så att det som skall mätas har en yta som befinner sig vinkelrätt mot laserstrålen erhålls ett bättre mätresultat enligt det som redovisades tidigare.

Med bakgrund av det som tidigare behandlats och de resultat som framkommit kan man dra vissa slutsatser. Vid mätning med laser och de förutsättningar som givits kan ett mätresultat med mindre än 2,0 m punktätthet vid avstånd över 15 m ej erhållas. Dock kan mätresultaten variera beroende på vad som mäts. Det optimala fallet är om mätobjektet befinner sig i radiell vinkel mot lasern. Då laserstrålen roterar och registrerar de reflekterade strålarna är den bästa placeringen av lasern en punkt där räckvidden hos lasern utgör den sida med 45° vinkel ifrån lodlinjen under lasern. Om man använder en laser med 30 m räckvidd och mäter på ett plant underlag skulle lasern placeras på 21,21 m höjd, enligt beräkningen nedan.



$$\sin 45^\circ = \frac{H}{30} \Rightarrow$$

$$H = \sin 45^\circ \times 30 = 21,21 \text{ m}$$

Detta är ett rent hypotetiskt resonemang, men det visar ändå det bästa sättet att utnyttja tekniken. Att försöka genomföra detta rent praktiskt vid fordonsmontage är väldigt svårt. Förutom att det skulle krävas ett stabilt fordon kan det också bli problem att framföra det i trafik. Med tanke på att den normala trafikmiljön inte är utformad för detta ändamål skulle det vara svårt att använda. Däremot skulle man kunna montera en laserenhet på en lägre höjd än 21,21 m, men ändå högre än 1,1 m. Då de flesta anordningar; broar, skyltar, signaler eller ledningar i trafiken har en lägsta höjd av 6 m skulle en placering på 5 m höjd kunna vara ett alternativ. Det finns dock platser där även denna höjd är för hög. Normalt sett har de flesta broar en körbar höjd under 5 m, vilket innebär att det inte skulle kunna gå att passera en sådan punkt. Detta skulle man dock kunna lösa med bra planering. För att ge exempel på vilken skillnad en mätning skulle ge med en laserenhet placerad 5 m över markytan till skillnad mot 1,1 m, har en uppritning i AutoCAD gjorts. Förutsättningarna för denna uppritning var likvärdiga som för den tidigare där laserenheten var placerad 1,1 m över markytan.

#### Förutsättningar

- En laser som mäter med 0,6° vinkelskillnad
- Att lasern befinner sig 5 m över markytan (monterad på ett fordon)
- Lasern är placerad så att den täcker allt utom en 90° sektor mot markytan
- Markytan är horisontell d v s utan lutning eller hinder
- Maximalt mätavstånd är 100 m

Med dessa förutsättningar gjordes en identisk uppritning som tidigare.

Tabell 8:4 Täthet mellan mätpunkter då lasern är placerad 5 m över markytan (teoretiskt)

Mätavstånd från lasern (m)	Differens (m)	Mätavstånd från lasern (m)	Differens (m)
5,02	-	17,24	0,64
5,13	0,11	17,92	0,68
Ingen redovisning av data		18,64	0,72
		19,43	0,79
9,61	-	20,30	0,87
9,86	0,25	21,27	0,97
10,13	0,27	22,24	0,97
10,41	0,28	23,35	1,11
10,70	0,29	24,57	1,22
10,99	0,29	25,92	1,35
11,30	0,31	27,71	1,79
11,64	0,34	29,49	1,78
11,98	0,34	31,50	2,01
12,34	0,36	33,85	2,35
12,72	0,38	36,52	2,67
13,11	0,39	39,58	3,06
13,53	0,42	43,21	3,63
13,95	0,42	47,61	4,40
14,42	0,47	52,95	5,34
14,91	0,49	59,54	6,59
15,46	0,55	68,02	8,48
16,01	0,55	79,08	11,06
16,60	0,59	94,41	15,33

Resultatet från uppritningen i AutoCAD finns presenterat i tabell 8:4. Genom att studera innehållet i denna tabell ser man att lasern klarar av att mäta fler mätpunkter och tätare mellan punkterna jämfört med tidigare exempel. För mätning med kortaste avstånd på 5 m ger det 0,11 m differens mellan mätpunkterna. Differensen mellan mätpunkterna ökar heller inte lika mycket som för det tidigare exemplet. Vid 15 m mätavstånd ligger mätpunkterna med ungefär 0,50 m emellan. Differensen ökar successivt för att vid 23 m mätavstånd vara 1,0 m och vid 100 m avstånd vara ungefär 15 m.

Jämför man resultaten då lasern är placerad 5 m över markytan med om den är placerad 1,1 m över markytan, ser man en avsevärd förbättring. Genom att lasern är placerad betydligt högre får man en bättre inmätning. Man får fler inmätta punkter och de täcker bättre in det inmätta området. För att göra jämförelsen tydligare är värden för olika avstånd sammanställda i tabell 8:5.

Tabell 8:5 Sammanställning av avstånd mellan mätpunkter avseende laserns placering i höjd (teoretiskt)

Mätavstånd från centrumlinjen (m)	Avstånd mellan mätpunkter (m)	
	Laser placerad 1,1m över markytan	Laser placerad 5 m över markytan
~ 5	~ 0,26	~ 0,11
~ 10	~ 0,96	~ 0,27
~ 25	~ 3,37	~ 0,87
~ 50	~ 15,36	~ 5,34
~ 100	~ 44,84	~ 15,33

Förutom denna förbättring kan man tänka sig fler fördelar. Den främsta torde vara att lasern "ser" över objekt som tidigare skulle skärmats av siktlinjen från lasern. Fördelen med det skulle vara att man kan mäta bakom vissa hinder som tidigare skulle förhindrat ytterligare mätning.

Sammantaget kan sägas att med en begränsad mätsektor på 270° klarar man inte att mäta allt av intresse i en sektion. Dessutom ger mätning med lasern sämre noggrannhet vid ökat avstånd. Då lasern som skall användas, har en teoretisk maximal räckvidd på 30 m kommer avståndet mellan mätpunkter som mest att vara cirka 5 m. Då detta inte är speciellt stort värde kan det ändå innebära att lasern inte mäter allt som man önskar mäta. Resultat från mätningen presenteras senare i denna rapport.

#### 8.4 Referensobjekt

För att kunna utvärdera inmätningen behövdes ett referensmaterial. Orsaken till detta var dels att kunna kontrollera hur korrekt mätmetoden är och dels att koordinatbestämma mätningen. Kontrollen av mätmetoden gjordes genom att jämföra inmätt data med referensdata d v s att man ser hur mycket den inmätta datan avviker från referensmaterialet. I och med att ingen kompletterande mätning utfördes för att kunna bestämma positionen av inmätningen, var detta av stor vikt. Då Göteborgs kommun har ett väl utbyggt digitalt kartmaterial över kommunen skulle detta kunna användas som referensmaterial. Fördelen med att använda den digitala grundkartan Göteborgs kommun var att:

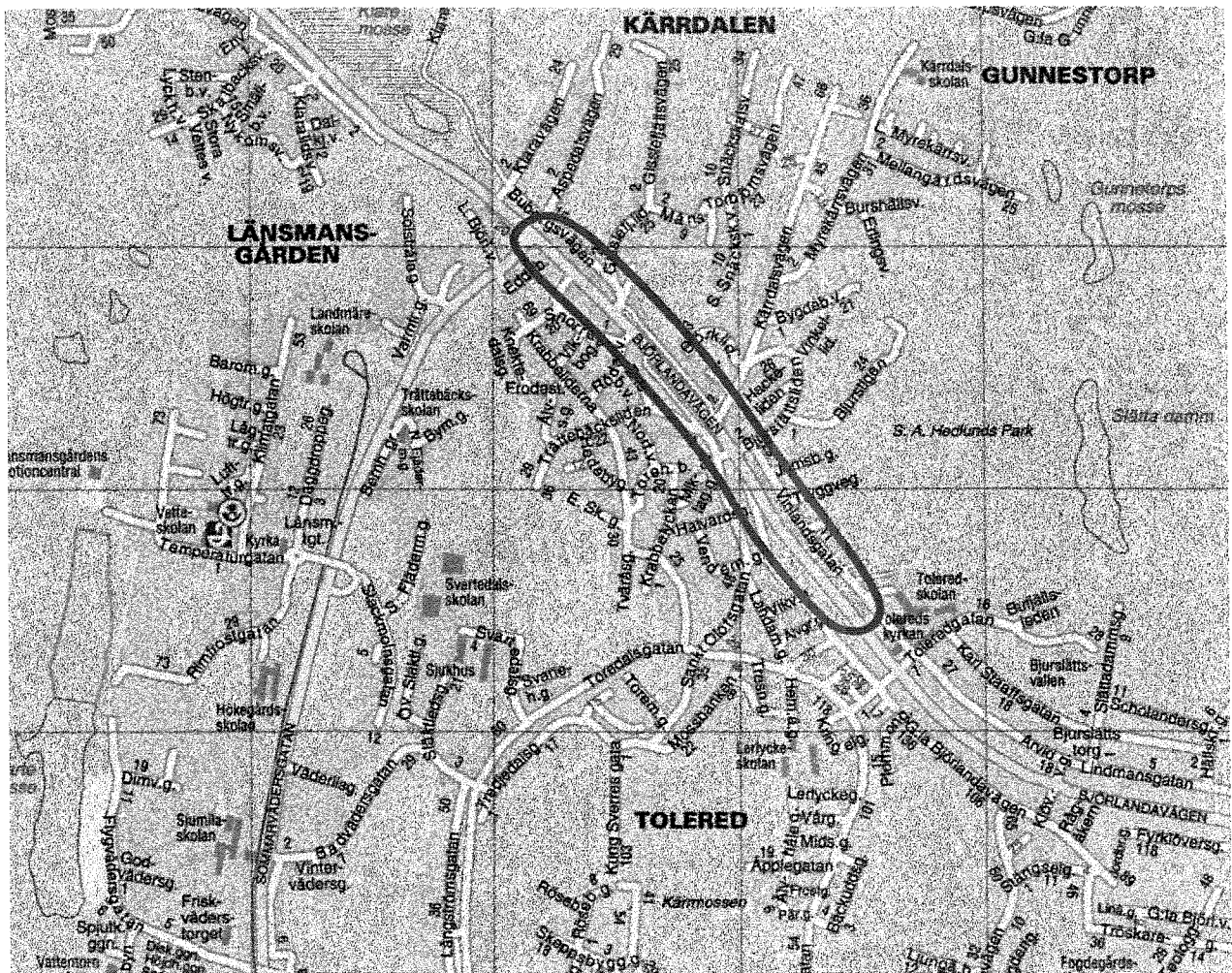
- Kartmaterialet redan existerar
- Den har god noggrannhet. Plannoggrannhet 0,05-0,20 m och höjdnoggrannhet 0,05-0,20 m
- Det finns i digitalt format
- Det är lagrat med information om x-, y- och z-värde
- Objektsinformation finns d v s vad respektive del av datan representerar
- Det är kompatibelt med de datorprogram som skall användas vid undersökningen
- Man undviker det arbete som skulle vara förknippat med att iordningställa ett referensmaterial. Jämför med 1:a punkten.

För att bestämma ett lämpligt referensobjekt togs följande punkter i beaktande:

- Att objektet finns inom Göteborgs kommun. Detta är bra då man både kan utnyttja kommunens kartmaterial och att transportsträckor förkortas.
- Att objektet har lagom längd. Är objektet för långt kan problem med bearbetning och analys uppstå, då mycket arbete måste läggas på bearbetning och analys.
- Att det täcker in olika typer av miljöer ur bullerberäkningssynpunkt d v s inte bara stadsmiljö med hyreshus eller bara villabebyggelse med samma terrängförhållanden. Här beaktas även faktorer som eventuella skärmar, husens avstånd till vägen, vägbredd (stor väg som E6 innebär trafikanordningsplan för mätning med följevilar m m samt att det är svårt att utföra mätning då mätbilen utgör hinder i trafiken), tillgång till trafikdata, husstorlek, växtlighet.

Med utgångspunkt från dessa punkter kunde således ett objekt bestämmas. Valet föll på Björlandavägen, då den såg ut att uppfylla urvalsfaktorerna. Björlandavägen ligger på Hisingen i Göteborgs kommun och går från Backaplan i nord-västlig riktning, med en del i stadsbebyggelse och en del i mer lantlig bebyggelse. Då den lantliga delen inte bedömdes uppvisa några större fördelar gentemot delen med stadsbebyggelse valdes sträckan mellan korsningen Björlandavägen - Sommarvädersgatan och korsningen Björlandavägen - Wieselgrensgatan. Denna sträcka är cirka 2,5 km lång, där den första delen av sträckan är förhållandevis kuperad med villabebyggelse som sedan övergår till ett flackare område bestående av hyreshus med två-tre våningar. Trafiken innebar inte några extra åtgärder då Björlandavägen på vald sträcka är en tvåfältsväg med 7,5 m vägbredd och 50 km/h som hastighetsbegränsning.





Figur 8:9 Den studerade sträckan längs Björlandavägen (Telefonkatalogen, Göteborg 1999).

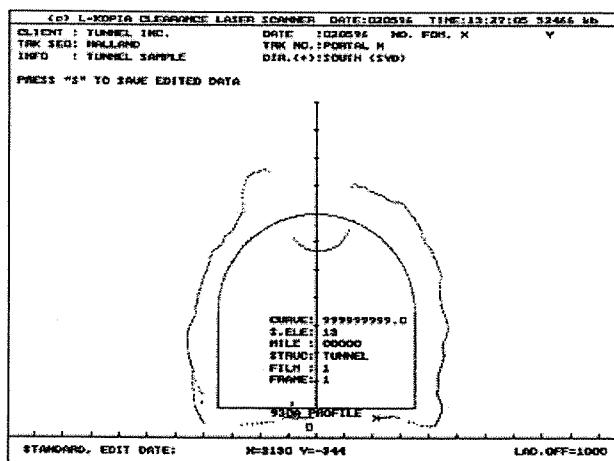
### 8.5 Mätning

Mätningen påbörjades i korsningen Björlandavägen - Sommarvädersgatan. För att i plan kunna lokalisera all mätdata gjordes en inmätning av en belysningsstolpe. Då läget av stolpen var känt både i den inmätta sektionen och från grundkartan, skulle en positionsbestämning av den första sektionen kunna göras. I denna position gjordes även en nollställning av trippmätaren i mätbilen. Efter att den första sektionen blivit inmätt kördes mätbilen fram 10 m. Där påbörjades scanning tills den bild (se figur 8:10) som presenterades i mätbilen var stabil, vilket tog ett par sekunder. Under denna period kontrolleras även längdlutningen, då denna måste kompenseras ifall den överstiger 0,5%. När lutningen var acceptabel, och inget hade stört den inmätta sektionen, kunde mätdata lagras. Störningar som kunde uppstå var exempelvis bilar eller människor. Under mätningen uppstod trafikkörer då mätbilen blockerade halva vägbredden. Detta gav till följd att mätbilen fick svänga in vid sidan av vägen, vid ett par tillfällen, för att släppa fram trafik. Då undanmanövrerna var små bedömdes de inte ha någon påverkan på mätningen.

Efter att ha mätt cirka 1,4 km avbröts mätningen. Under mätningen konstaterades att lasern inte klarade av att mäta mer än 25 m i sida. I och med att lasern maximalt kunde mäta 25 m i sida och

samtliga hus på den resterande delen av sträckan fanns på minst 30 m avstånd från vägen, var det ingen mening att fortsätta mätningen. Huvudsyftet var ändå att kunna mäta byggnader och marken mellan mätfordonet och byggnaderna. Totalt tog mätningen inte mer än 2 timmar, vilket innebär att man kan mäta med en hastighet av ungefär 1 sektion per minut.

Vid mätningen var lasern placerad på en höjd av 1,1 m över markytan.



Figur 8:10 Exempel på hur mätsituationen kan presenteras med pc i mätfordonet (LKO).

Hela mättningsarbetet sköttes av totalt två personer. All registrering av mätdata och den justering som behövdes gjordes under tiden. Då mätningen utfördes med en fordonsburen utrustning gav detta en mätning med hög mobilitet och effektivitet.

Genom att mätningen endast behövde utföras av två personer och på relativt kort tid, totalt 3 timmar för iordningställande av utrustning och mätning av 1,4 km väg, kan man göra en bedömning av kostnaden. För mätning under en halv dag och två personer torde kostnaden för mätningen vara 5000 kr. Utöver mätningen skall även redigeringsarbetet av mätdata tas med. Totalt sett tog redigeringen ungefär 3 arbetsdagar. Detta skulle innebära en tilläggskostnad av  $24 \times 300$  kr (bedömd timkostnad för person som utför redigering) = 7200 kr. Detta innebär en total kostnad av ungefär 12 000 kr. Med tanke på den mängd data som mätts in och den tid som behövdes, får mätmetoden som den användes anses vara billig.

## 8.6 Efterarbete

När mätningen var klar bearbetades resultaten av LKO teknik AB. Resultaten sparades i en koordinatfil med information om varje inmätt sektion. I filerna fanns uppgift om mätdatum, objektnamn, korrigering av längd lutning, längdmätning och sektionsnummer. Förutom denna information fanns samtliga inmätta punkter per sektion redovisade med x- och y-värde i förhållande till lasern. Mätpunkterna var angivna med värden på tre decimaler.

Koordinatfiler kan överföras till olika filformat beroende på vad de skall användas till. För det fortsatta arbete konverterades koordinatfilen för användning i NovaPOINT.

### **8.7 Noggrannhet hos mätdata**

Efter intervjuer och samtal med Erland Kjellsson, GF Konsult och Johanna Rödström, Flygfältsbyrån gjordes en bedömning avseende noggrannheten hos mätdatan. För att kunna utföra bullerberäkningar skall mätdatan ha en noggrannhet av 0,5 m i plan och höjd. Enligt *Vägtrafikbuller* (1996) gäller att "De lodräta avvikelserna från den verkliga terrängen skall inte överstiga  $\pm 1$  m ( $\pm 0,5$  m är önskvärt för hård mark)", vilket stämmer med ovanstående bedömning avseende noggrannheten i höjd. För noggrannheten i sida bör den inte överstiga noggrannheten i höjd och således bör den ha samma noggrannhet.

## 9 Resultat och analys

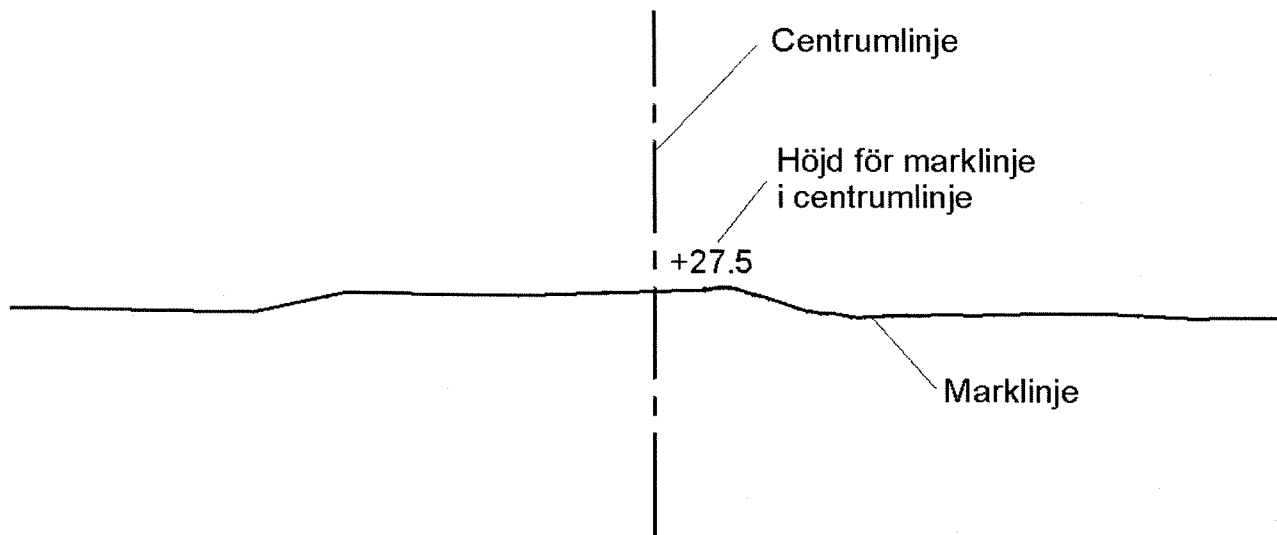
### 9.1 Första bearbetningen

Med inmätningarna överförda till rätt format kunde de läsas in i NovaPOINT. Det första momentet i detta läge var att göra i ordning ritningsfilen med sektionerna. Mätdata i sektionerna innehöll bl a information om buskar och träd som redigerades bort. De oredigerade samt redigerade sektionerna kan studeras i bilaga 1 och 2. Då sektionerna var färdigredigerade skulle de jämföras med motsvarande information från grundkartan. Till hjälp för detta upprättades en räknad linje i NovaPOINT. Linjen konstruerades så att den skulle följa samma väg som mätbilen gjorde under mätningen.

Vid jämförelse mellan grundkartan och de inmätta sektionerna upptäcktes fel i inmätningen. Det visade sig att trippmätaren på mätfordonet inte var korrekt kalibrerad. Genom att kontrollera två inmätta sektioner fanns ingen överensstämmelse mellan inmätningen och grundkartan. Frågan som uppstod var hur stort felet var och vad som skulle göras för att åtgärda det. Då en belyningsstolpe mätts in i sektion 0/470 kunde ett fel beräknas på sträckan 0 - 470 m. Detta fel uppgick till 1,2 m per 100 m vilket innebar att avståndet mellan de inmätta sektionerna inte var 10 m utan 9,87 m. En inmätt kilometer blev egentligen inte längre än 987,4 m. Genom att göra en felutjämning mellan alla sektioner och kontrollera läget på sektionerna visade det sig att felutjämningen fungerat bra.

Eftersom trippmätaren i mätfordonet inte hade större noggrannhet än 1 m får det anses att det inte gick att få bättre noggrannhet på positioneringen av inmätningarna. Till detta skall även den digitala grundkartans noggrannhet tas i beaktande. Med detta i åtanke var det svårt att på ett korrekt sätt verifiera det inmätta materialet.

Då felet justerats och längdmätningen korrigerats bearbetades grundkartan. I och med att grundkartan levererats med objekt i x-, y- och z-koordinater har den kunnat användas för att ta fram tvärsektioner (se typsektion, figur 9:1). Dessa tvärsektioner har utnyttjats för att kontrollera hur inmätningen har fungerat. Med den räknade linjen användes grundkartans information för att skapa tvärsektioner. Dessa kunde sedan ritas upp i datorn i önskad format.



Figur 9:1 Typsektion.

## 9.2 Jämförelser mellan inmätningar och grundkarta

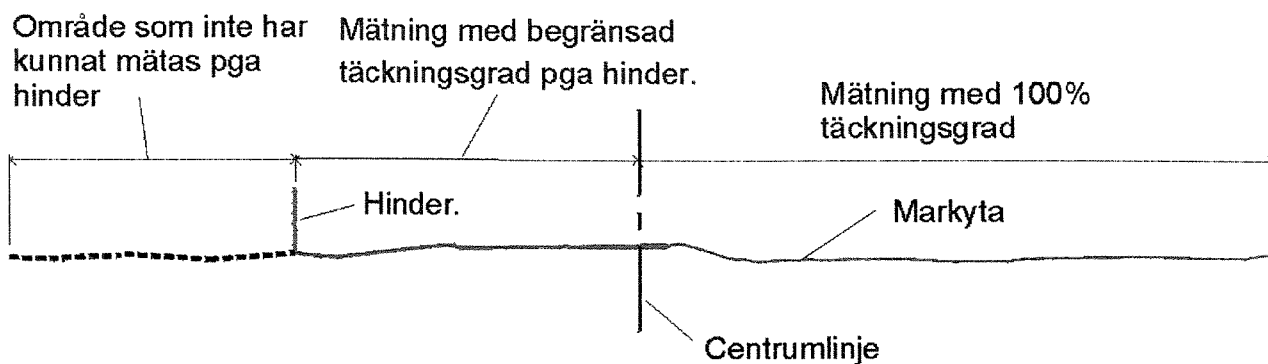
För att kunna avgöra hur väl inmätningen fungerade har jämförelser gjorts mellan det inmätta materialet och grundkartan. Denna analys har skett i olika delar. En del där täckningsgraden studerats och en del där precisionen studerats.

Totalt täcker inmätningen drygt 1,4 km väg, med 10 m intervall mellan de inmätta sektionerna. Då resultatet från mätningen studerades gjordes en bedömning av hur mycket av mätdatan som skulle användas vid analysen. De sista 400 metrarna uppvisade inte någon större skillnad jämfört med den föregående delen av sträckan, och innehöll heller inte några inmätta byggnader. För att få ett hanterbart material, samt att studera det som är av betydelse ur bullerberäkningssynpunkt, begränsades mätdatan till att omfatta en sträcka av 1 km.

### 9.2.1 Täckningsgrad av mätningen

#### Beskrivning

Täckningsgrad av mätningen är ett mått på mätresultatet och beskriver verkligt utfall mot önskat utfall d v s hur mycket har mätts av det som skulle kunna mätas. Då grundkartan endast innehåller höjdinformation om markyta och byggnader har utvärderingen begränsningar. På detta har endast jämförelse skett mellan markytan och byggnader från inmätningen med motsvarande från grundkartan.



Figur 9:2 Täckningsgrad.

Det första som gjordes efter att de inmätta sektionerna hade redigerats klart var att studera varje sektion. I och med att lasern klarade att mäta 25 m åt varje sida innebar det att den maximala täckningsgraden för varje sektion var 25 + 25 m d v s att lasern har klarat att mäta 25 m åt vänster och 25 m åt höger i varje sektion. Skulle lasern ha registrerat ett plank, en buske, ett träd, en förhöjning i terrängen eller något annat oönskat har således täckningsgraden för den inmätta sektionen minskat (se figur 9:2).

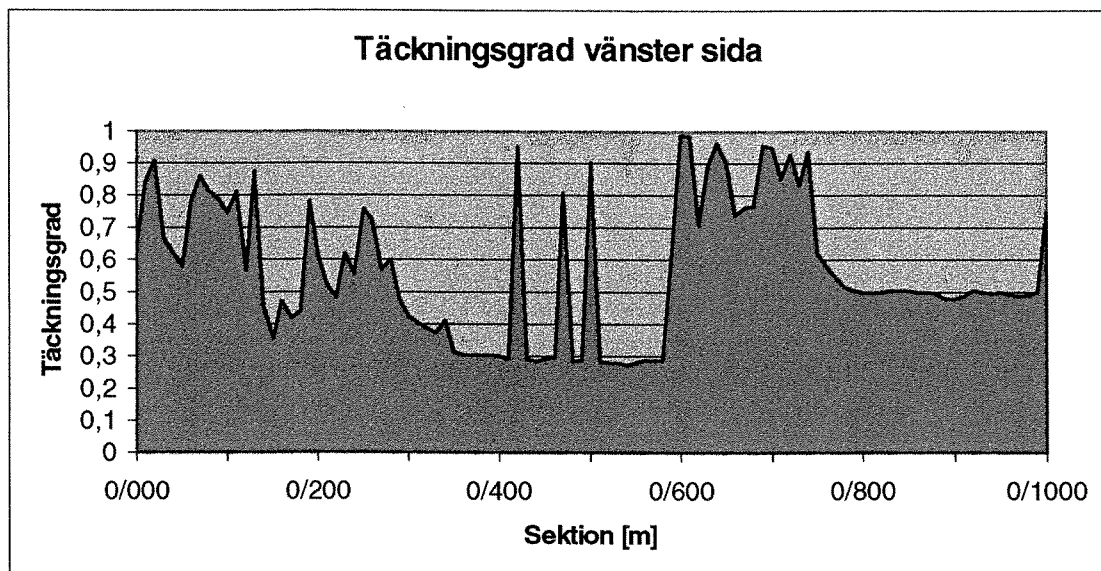
Eftersom täckningsgraden kommer att variera med miljö, väder, utrustning, placering av lasern och trafik kan det vara svårt att ge ett generellt mått av hur väl mätmetoden fungerar. I och med att det finns många olika faktorer som påverkar utgången av en mätning är det svårt att på förhand avgöra hur väl resultatet från en mätning överensstämmer med det önskade resultatet.

Jämförelsen mellan inmätningen och grundkartan resulterade i en tabell där samtliga inmätta sektioner mellan 0/000 - 1/000 redovisas (se utdrag i tabell 9:1). I tabellen redovisas varje inmätt sektion, dels för vänster och dels för höger sida, med den uppmätta bredden i sida angiven med 0,10 m noggrannhet. Avståndet som är angivet för vänster och höger sida utgår från laserns placering i varje sektion.

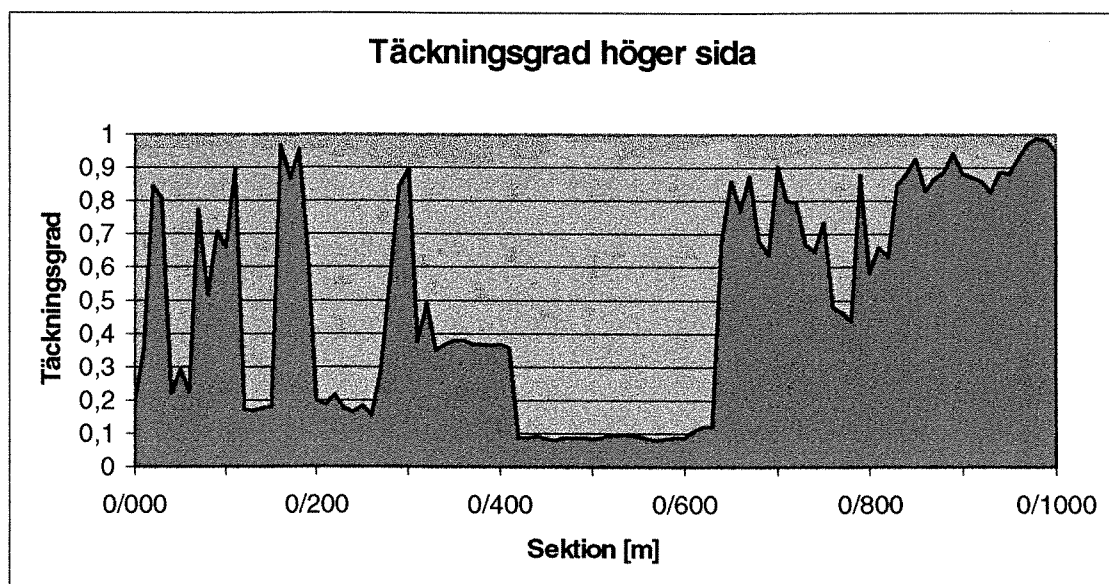
Tabell 9:1 Utdrag ur tabell för täckningsgrad för vänster sida

Sektion	Vänster (m)	Kategori	Täckningsandel	Täckningsgrad
0/000	16	Belysningsstolpe	16/25	0,64
0/010	21,1	Växtlighet	21,1/25	0,84
0/020	22,7	Växtlighet	22,7/25	0,91
0/030	16,7	Växtlighet	16,7/25	0,67
0/040	15,5	Växtlighet	15,5/25	0,62
0/050	14,5	Växtlighet	14,5/25	0,58
0/060	19,6	Växtlighet	19,6/25	0,78
0/070	21,5	Växtlighet	21,5/25	0,86

Med hjälp av tabellerna över täckningsgraden har diagram tagits fram där man kan studera hur täckningsgraden varierar längs den studerade sträckan. Det blir på så vis enklare att se hur bra eller dåligt mätningen har fungerat avseende täckningsgraden. Diagrammen visar variationen av täckningsgrad för vänster respektive höger sida av den studerade sträckan (se figur 9:3 och 9:4).



Figur 9:3 Täckningsgrad vänster sida.



Figur 9:4 Täckningsgrad höger sida.

Diagrammen och tabellerna visar hur stor variationen är mellan de olika sektionerna. Det beror till största del på omgivningen. Plank, växtlighet, byggnader och andra objekt utgör hinder för att lasern skall kunna mäta maximalt. Bedömningen av vad som är relevant eller inte är subjektiv. Skall den göras något objektiv kan man säga att man önskar mäta in så stor del av markytan som möjligt. Ibland kan det dock vara önskvärdt att kunna mäta annat än bara markytan. Om så är fallet kan det vara andra värden som avgör hur bra en mätning har fungerat. För att ge ytterligare en bedömning av hur stor täckningsgrad mätningen har haft, har den delats upp i olika kategorier.

Dessa kategorier har sedan jämförts sinsemellan för att se huruvida värdena för kategorierna överensstämmer, vilket då ger ett mått på hur stor täckningsgrad man kan erhålla.

### Kategorier

- Växtlighet – Träd, buskar, gräs m m
- Plank – Bullerplank
- Byggnader – Villor, garage, skjul m m
- Hinderfri mätning – Mätning utan hinder

### Detaljerad jämförelse

Genom att sammanställa värdena för respektive kategori och sammanställa dem får man ett bättre mått än att bara titta på täckningsgraden för hela den studerade sträckan. På detta sätt ser man hur olika objekt kan påverka en mätning.

Tabell 9:2 Medelvärden av täckningsgraden för olika kategorier

Kategori	Vänster sida	Höger sida	Sammanlagt
Medelvärde totalt	57 %	50 %	54 %
Växtlighet	69 %	60 %	64 %
Plank	47 %	17 %	30 %
Byggnader	93 %	77 %	85 %
Hinderfri mätning	83 %	87 %	84 %

Utifrån de redovisade värdena i tabell 9:2 (ovan) kan man dra vissa slutsatser. Börjar man med att titta på det totala medelvärdet skiljer det sig inte mycket mellan vänster och höger sida. De mer specificerade kategorierna har dock vissa skillnader. Kategorin som uppvisar störst skillnad är den för plank. I och med att planken sitter på olika avstånd från vägen längs olika delar av den studerade sträckan erhålls varierande resultat. På den högra sidan sitter planken 2 - 10 m från mätpunkten och på vänster sida 7 - 18 m. Detsamma gäller även byggnader fast här är skillnaden inte lika stor som för plank. Anledningen till detta är att byggnaderna befinner sig längre ifrån vägen och inkräktar inte lika mycket på mätningen. Den kategori som uppvisar minst variation är den hinderfria mätningen. Den hinderfria mätningen är den mätning där det inte funnits något hinder som har förkortat mätsträckan. Detta är den mest realistiska kategorin då den visar hur stort område som kan mätas in utan störning. Dock visar det sig att det trots förutsättningarna inte går att mäta sektioner med 50 m bredd. Orsakerna till detta kan vara att mätavståndet mellan de yttersta mätpunkterna inte har räckt till och då har den praktiska mätsträckan förkortats till skillnad mot den teoretiska. Se figur 8:8 och tabell 8:3 angående teoretisk mätning.

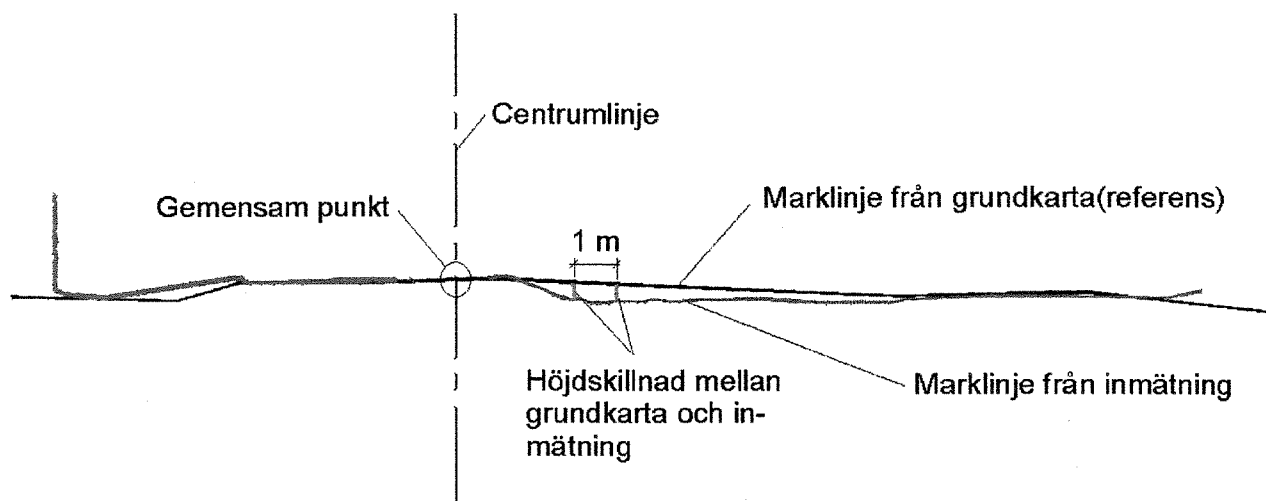
## 9.2.2 Noggrannhet i höjd

### Beskrivning

För att kontrollera höjdnoggrannheten hos mätningen mättes skillnaden mellan referenssektioner och inmätta sektioner. För att minska förarbetet, men ändå få ett bra underlag, studerades varannan sektion d v s var 20:e meter. Detta ger ändå en förhållandevis stor mängd indata. I varje studerad sektion har skillnaden i höjd mellan referenssektionen och den inmätta sektionen



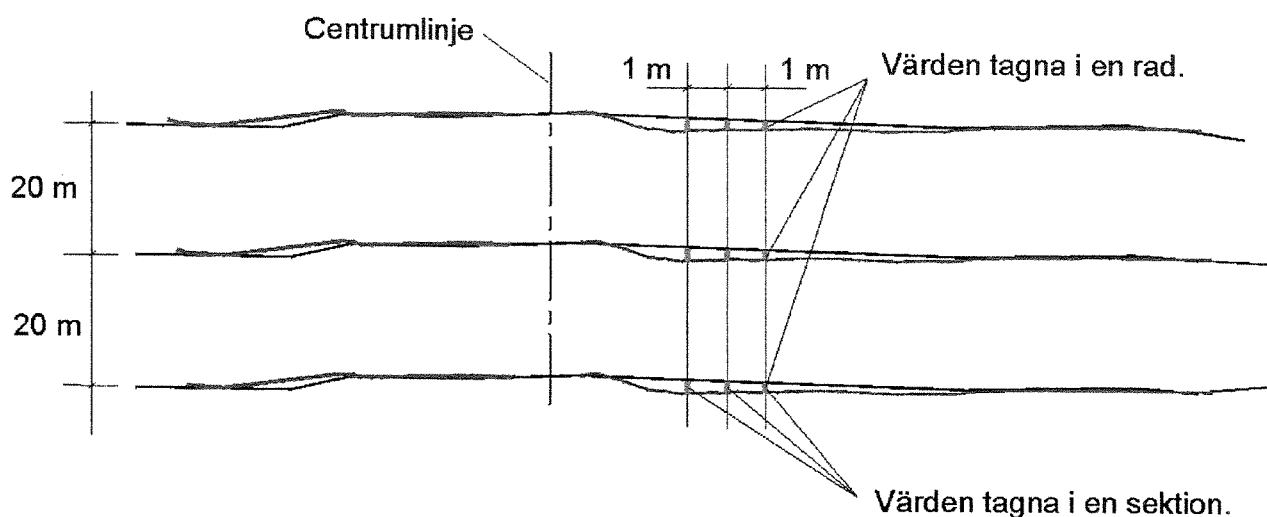
kontrollerats för varje meter i sida. Exempel på en sektion visas i figur 9:5. I denna sektion ligger både tvärsektionen från grundkartan och tvärsektionen från inmätningen i samma sektion. Den gemensamma punkten för de båda tvärsektionerna är centrumlinjens skärningspunkt med marklinjen. Avvikelsen mäts för varje m i sida från centrumlinjen och utåt. Då marklinjen från inmätningen ligger över grundkartans marklinje fås ett positivt värde på differensen. Om däremot marklinjen från inmätningen ligger under grundkartans marklinje erhålls ett negativt värde. Differensen har kontrollerats för de avstånd då båda marklinjerna följer varandra. De avstånd då den inmätta marklinjen saknas kan ingen differens uppmätas.



Figur 9:5 Exempel på sektion för mätning av differens mellan grundkarta och inmätning.

### Statistisk beräkning

Värdena från jämförelsen mellan inmätt- och grundkartans sektion har sedan sammanställts i datorprogrammet Ms Excel. Med hjälp av Excel har datan beräknats för respektive sektion, till vänster och höger om mitten. Utöver det har även varje sidoavstånd  $d$  v s 1, 2, 3 ... n för vänster och höger sida om mitten beräknats. På detta sätt har dels värdena i varje sektion och dels värdena på samma avstånd från mitten jämförts (se figur 9:6). Med funktionen "beskrivande statistik" i Excel beräknades följande statistiska värden (se sida 33).



Figur 9:6 Hur värden i sektion och i rad har erhållits.

### Förklaring av de använda statistiska beräkningssätten

- Medelvärde

Ger det aritmetiska medelvärdet av argumenten.

- Standardavvikelse

Standardavvikelsen är ett mått på en mängd värden spridning kring medelvärdet

- Varians

Varians är standardavvikelsen i kvadrat

- Minimum

Ger det minsta talet i en mängd värden.

- Maximum

Ger det största värdet i en mängd värden.

- Antal

Räknar antalet element i mängd värden.

Genom att beräkna för vänster respektive höger sida i varje sektion och för varje sidoavstånd erhöles fyra resultat. För dessa fyra resultat har medelvärden för medelvärde, standardavvikelse, varians, minimum och maximum beräknats. Sammanställning av detta kan studeras i tabell 9:3 (nedan).

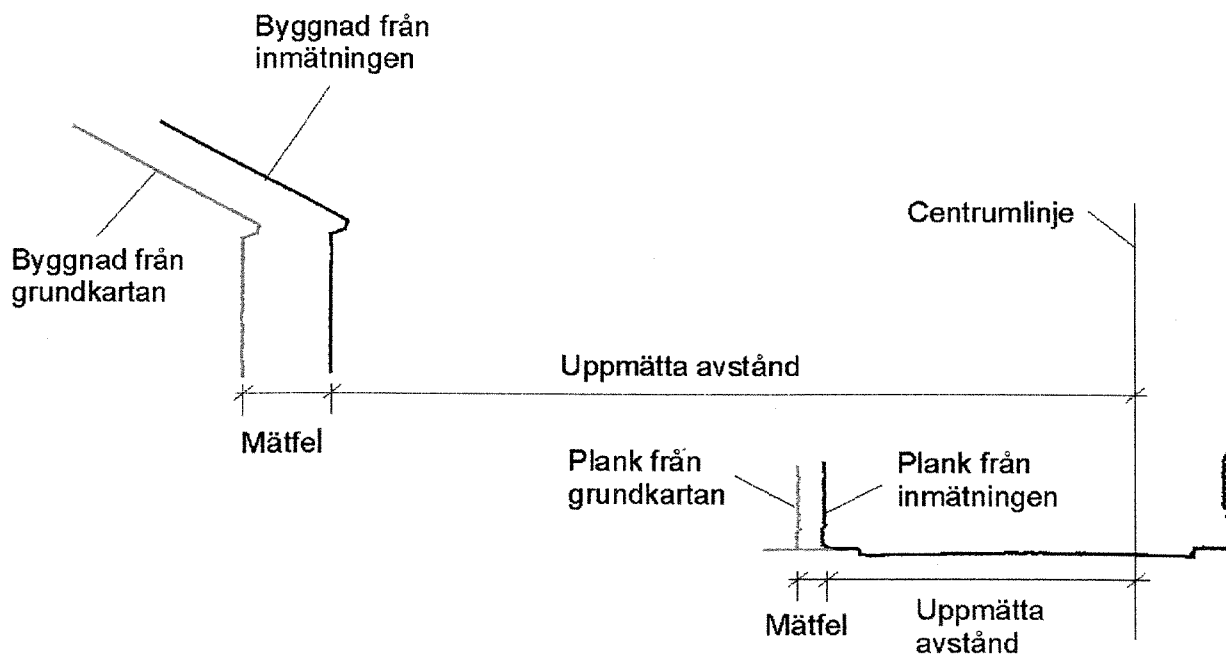
Tabell 9:3 Sammanställning av beräknad noggrannhet hos mätning

	Vänster- sektion	Höger- sektion	Vänster- rad	Höger- rad	Totalt
Medelvärde (m)	0,041	0,079	0,090	0,089	0,075
Standardavvikelse (m)	0,089	0,158	0,148	0,268	0,166
Varians (m)	0,012	0,060	0,031	0,105	0,052
Minimum (m)	-0,190	-0,840	-0,190	-0,840	-0,840
Maximum (m)	1,018	2,300	1,018	2,300	2,300
Antal (st)	658	574	658	574	1232

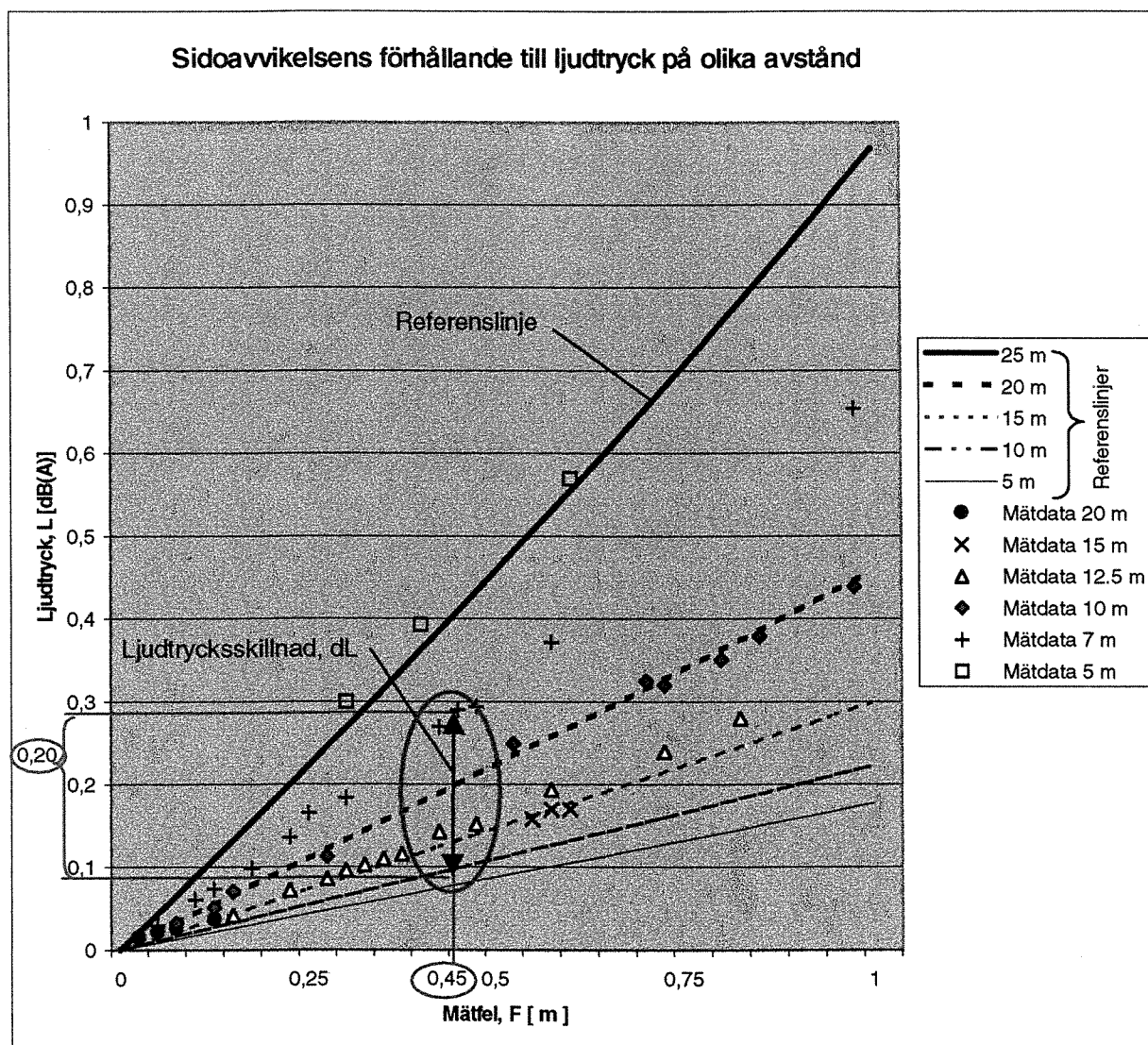
Utifrån resultatet från den slutliga beräkningen av noggrannheten i höjd kan man se att mätningen generellt sett ligger 0,075 m över referensytan, som i detta fall är grundkartan. Om de olika delarna av beräkningen studeras ser man att värdena för medelvärdet av mätningen varierar mellan 0,041 - 0,09 m. Att standardavvikelsen är 0,166 m får anses som ganska stort d v s att man får mätresultat som i genomsnitt ligger  $\pm 0,166$  m från det önskade värdet. Tittar man på minimum och maximum d v s det minsta och största mätvärdet, avviker de ganska mycket. Att få ett minsta värde som ligger 0,84 m under önskad nivå eller ett maximalt värde som ligger 2,3 m över önskad nivå är stor avvikelse, då höjdnoggrannheten på den digitala grundkartan är 0,05 - 0,20 m (se 8.4 "Referensobjekt").

### 9.2.3 Noggrannhet i sida

Utöver noggrannheten i höjd har även mätningen i sida kontrollerats. Anledningen till detta är att se hur avvikelser i sida vid mätning kan påverka bullerberäkning. För att göra denna kontroll behövdes information om något som fanns både i grundkartan och i inmätningen. Eftersom byggnader och plank mätts in och finns i grundkartan ansågs det vara möjligt att studera dem. Det som skulle kontrolleras var det horisontella avståndet mellan laserns position och objektet, som utgjordes av byggnader eller plank (se figur 9:7). Det horisontella avståndet uppmättes både i den inmätta datan och i grundkartan. Med dessa uppgifter kunde skillnaden (mätfelet) mellan avstånden beräknas. För att se vilken påverkan mätfelet skulle ha för ljudtrycket plottades de beräknade värdena i ett diagram (se figur 9:8).



Figur 9:7 Mätning av avstånd i sida mellan objekt i grundkartan och i inmätningen.



Figur 9:8 Mätfelets påverkan på ljudtrycket.

Ekvivalenta ljudtrycket,  $L_{eq}$ , har beräknats med följande formel:

$$L_{eq} = 10 \log \left( \frac{A}{A - F} \right) [\text{dB(A)}]$$

Där  $L_{eq}$  är en anpassning av formeln för beräkning av avståndskorrektion,  $L_{Aeq}$ , (Naturvårdsverket, 1996).

A = Det uppmätta avståndet i sida från grundkartan

F = Mätfelet (skillnaden mellan avståndet från grundkarta och från inmätningen).

Ett exempel har gjorts för att visa hur diagrammet skall tolkas och finns markerat med rött i diagrammet.

*Ex: Om mätdatan för 7 m jämförs med en tänkt referenslinje, mellan referenslinjerna för 5 och 10 m, erhålls en ljudtrycksskillnad  $dL$ . Denna ljudtrycksskillnad uppstår när mätdatan inte stämmer med det korrekta avståndet och resulterar i ett mätfel. För 0,45 m mätfel ger det att ljudtrycksskillnaden  $dL = 0,20 \text{ dB(A)}$ .*

Värdena som har plottats i diagrammet består av data för olika avstånd. Då mätdatan inte ligger exakt med samma avstånd är de något spridda. Denna spridning är  $\pm 1$  m från avståndet. Det skulle innebära att för avståndet 12,5 m finns mätvärden mellan 11,5 och 13,5 m. I diagrammet visas referenslinjer för hur stoleken av mättelet påverkar ljudtrycket på 5, 10, 15, 20 och 25 m avstånd. Syftet med referenslinjerna är att lättare kunna utvärdera datan samt att få en uppfattning om hur mättelet påverkar ljudtrycket på olika avstånd.

Då en korrekt positionering under mätningen inte kunde genomföras medför detta fel i mätdatan. Dessa fel bör beaktas vid analys av resultaten.

För att se hur stor påverkan ett fel i inmätningen kan ha på en bullerberäkning måste resultaten från analysen jämföras med någonting. Enligt en rapport (*Lahti, 1984*) från VTT i Finland, har studier gjorts av hur stor skillnaden är mellan bullerberäkningar jämfört med bullermätningar. För mätningar av väg- och järnvägsbuller erhöles en skillnad av 0,5 dB för den ekvivalenta bullernivån. Om mättelets påverkan på bullernivån var under 0,5 dB(A) skulle det inte innebära någon skillnad ur bullerberäkningssynpunkt.

Då figur 9:8 studeras ser man att mätdatan följer riktningen på referenslinjerna. Spridningen mellan värdena i de olika mätserierna är inte stor vilket innebär att de är trovärdiga. Tittar man på mätdatan för 5 m avstånd och jämför skillnaden i ljudtrycksnivå ser man att mättelet inte bör vara större än 0,7 m. Är den större än 0,7 m blir ljudtrycksnivån  $> 0,5 \text{ dB(A)}$ . Om man tittar på samma jämförelse för 10 m avstånd ger 0,7 m mätfel en skillnad i ljudtryck på 0,15 dB(A).

Då tillräcklig mätdata saknas för 15, 20 och 25 m avstånd är det svårt att avgöra mättelets påverkan på dessa avstånd. Med utgångspunkt från mätdatan för 5, 7, 10 och 12,5 m avstånd kan man anta att felet i ljudtrycksnivån kommer att minska med ökat mätavstånd. Detta skulle innebära att de mätfel som kan uppstå vid mätning inte kommer att påverka ljudtrycksnivån vid bullerberäkning. Ytterligare studier bör utföras för att ge en så korrekt uppgift som möjligt.

## 10 Bullerberäkning

Huvudsyftet med denna undersökning har varit att kontrollera hur väl inmätning med laserscanning från fordon fungerar. Utöver detta skulle även en utvärdering göras av hur användbar mätdatan är med avseende på beräkning av vägtrafikbuller.

### 10.1 Att beräkna vägtrafikbuller

För att få uppgifter på bullernivåer längs en väg brukar man göra bullerberäkningar istället för att mäta bullret. Anledningen är att det är svårt att få rättvisande siffror vid mätningar. Det finns olika faktorer som ger osäkerhet åt mätningar; väderförhållande, vind, terrängförhållanden, trafikmängder, tidpunkt, mätperiod, mätplats m m. Bullerberäkningarna brukar normalt utföras på specifika punkter, främst vid byggnader. När det gäller vägutredningar eller stråkutredningar, där detaljeringsgraden inte är speciellt hög, kan man även göra bullerutbredningskartor. Vid dessa beräkningar utnyttjas punkter i ett rutnät eller i flera sektioner längs den studerade sträckan. Istället för att beskriva förhållanden i en specifik punkt kan ekvivalenta nivåer markeras med nivåkurvor på en karta. På detta vis illustreras förhållanden inom ett större område och kan redovisa hur stor utbredning bullret har. Detta är dock inte normalt i en detaljstudie, där man är intresserad av hur bullernivåerna påverkar en viss fastighet.

Den information man behöver vid bullerberäkning (*Naturvårdsverket, 1996*) är följande:

- Trafikflöde av lätta och tunga fordon
- Hastighet
- Avstånd från vägens mittlinje till beräkningspunkten
- Vägbanans höjd över omgivande mark
- Skärmars läge, höjd och tjocklek
- Beräkningspunktens läge i förhållande till omgivande mark och väg bana eller skärmar
- Beräkningspunktens läge i förhållande till reflekterande vertikala ytor
- Markytans beskaffenhet (hård eller mjuk)

Enligt Naturvårdsverket (1996) ger häckar, buskar och trädridåer ingen eller obetydlig dämpning av ljudtrycket.

Som underlag för bullerberäkningar används normalt kartor och ritningar, i skala 1:1000 eller 1:2000, samt inmätningar. När man gör en utredning kan det räcka med kartor men för en detaljprojektering behövs det ofta noggrannare indata, vilket kan erhållas med hjälp av inmätningar och uppgifter från projekteringen. Det kan gälla utformning av en ny väg, bullerplank eller terrängmodellering. Beroende på detaljeringsgraden av beräkningarna utnyttjas datan på olika sätt.

Vid användning av ett underlag för bullerberäkning av vägar har det skett en förändring av tillvägagångssättet. Den traditionella arbetsmetoden har varit att utnyttja sektioner där ett snitt har representerat ett terrängområde. Detta snitt har matats in i ett datorprogram som med hjälp av ett eller flera snitt beräknar bullret. De program som har använts bygger på den Nordiska beräkningsmodellen, som finns beskriven i Naturvårdsverkets rapport 4653 (1996). I rapporten finns grunder för beräkning samt förenklade modeller för att utföra bullerberäkning, där mycket är sammanställt i tabeller. Då metoden fungerar bra finns det ändå vissa för- och nackdelar.

#### **Fördelar**

- Enkel
- Billig
- Snabb vid enklare analys
- God kontroll av arbete och resultat

#### **Nackdelar**

- Generaliserande
- Omständlig med många beräkningspunkter
- Tidsödande med många beräkningspunkter
- Begränsad redovisningsform

Man har generaliserat en del av de faktorer som ibland kan påverka beräkningen av buller längs väg och järnväg. Med ett programsystem som ganska nyligen har introducerats i Sverige har en förändring skett. Istället för att utnyttja ett mer analogt sätt att arbeta, finns idag möjlighet att integrera digital grunddata för analyser av olika slag. I programmet NovaPOINT finns POINT Buller, som är en programdel för beräkning av vägtrafikbuller (*CADPOINT, 1998*).

POINT Buller har ursprungligen utvecklats åt Norska Statens Vegvesen, Vegdirektoratet och lanserades första gången 1994. POINT Buller är en AutoCAD - applikation för att beräkna och analysera vägtrafikbuller. För att göra trafikbullerberäkningar utnyttjar POINT Buller den Nordiska beräkningsmodellen (*Naturvårdsverket, 1996*). Bullerberäkningarna utgår från givna indata för vägar, trafik, beräkningspunkter, hårda/mjuka områden, skärmar, byggnader och terrängöverytan. POINT Buller kan utföra beräkningar på flera punkter och olika bullerkällor i samma beräkning. Terrängdata som används hämtas från en digital terrängmodell som ingår i NovaPOINT. Övriga indata anges i POINT Buller. Utöver möjligheten att få numeriska resultat går det även att ta fram bullernivåkurvor och bullernivåytor.

### **10.2 Bullerberäkning i POINT Buller**

Beräkningen av vägtrafikbuller i POINT Buller sker i fyra moment (*CADPOINT, 1998*). Det första momentet är att överföra det digitala materialet till en databas och skapa en terrängmodell. Efter detta skapas de delar som ingår som variabler i beräkningen, exempelvis bullerkällor, byggnader, skärmar och hårdgjorda ytor. Då modellen och övrig indata är klar beräknas bullret. För att kunna studera resultatet kan detta presenteras antingen grafiskt eller i sifferform. De fyra momenten kan sammanfattas i fyra punkter.



## Beräkningsgång

- Skapa terrängmodell
- Ange beräkningsvariabler
- Utföra bullerberäkning
- Presentation av resultat

Det primära syftet med att utföra beräkningen var att kontrollera hur det går att utnyttja inmätta terrängsektioner från laserscanning som digitalt underlag för bullerberäkning med POINT Buller. Utöver detta var det även av intresse att se hur stor avvikelser kan vara mellan en bullerberäkning utförd med ett underlag bestående av grundkartan från Göteborgs kommun jämfört med de inmätta terrängsektionerna. Detta innebär att två bullerberäkningar gjorts där grundkartan först har beräknats. Därefter har samma beräkning genomförts fast med de inmätta sektionerna som kartunderlag. Med båda beräkningarna har sedan jämförelser gjorts mellan resultaten från beräkningarna samt de avvikelser som har uppstått vid beräkningen. Detta gäller både avvikelser i resultat och tillvägagångssätt.

### 10.2.1 Skapa terrängmodell

För att överhuvudtaget kunna utföra bullerberäkning i POINT Buller måste det finnas ett digitalt kartunderlag över det område som man avser att utföra beräkning på. Beroende på materialets format kan man utnyttja olika metoder för att göra det kompatibelt med POINT Buller. Dessa metoder behandlas dock inte i denna rapport.

När man har sitt material i rätt dataformat lagras det i POINT Buller. Har man en digital grundkarta finns all information uppdelad i olika s k lager där varje lager innehåller information om specifik kartinformation. Exempelvis är alla belysningsstolpar, vägkanter, diken, nivåkurvor m m uppdelade på var sitt lager. För beräkningarna delades grundkartan upp i tre delar, grupper, där varje grupp sparades ner separat i POINT Bullers databas. Efter detta sattes prioritetsnivåer för respektive grupp i databasen för att styra informationen i det fortsatta arbetet. Anledning till att prioritera informationen olika beror på innehållet i grupperna. Man kan ha information om bergnivåer, nivåkurvor, inmätt- och digitaliserat material. I arbetet med terrängmodellen fick plandata (byggnader, vägkanter, plank m m) högst prioritet, därefter nivåkurvor och sist byggnader.

Innan arbetet kunde gå vidare till nästa moment gjordes en kontroll av informationen i databasen. Denna kontroll syftar till att undvika att felaktig information används i bullerberäkningen.

### 10.2.2 Ange beräkningsvariabler

Denna del av beräkningsprocessen består av flera olika punkter. Beroende på hur det objekt som skall beräknas ser ut, utnyttjas punkterna i beräkningsprocessen olika. För att klara av en beräkning finns en lägsta nivå om vad som skall ingå.

## Beräkningsvariabler

- Skapa bullerkälla
- Ange data om bullerkällan
- Skapa/Identifiera byggnader (ev)
- Skapa bullerskärmar (ev)
- Hård mark (ev)
- Definiera beräkningspunkter

### *Skapa bullerkälla*

Det som gjordes efter att terrängmodellen var klar var att skapa en bullerkälla, som i detta fall utgjordes av Björlandavägen. För att programmet skall veta var bullerkällan finns måste en linje definieras i POINT Buller. Denna linje visar bullerkällans mittpunkt och då fordon flyttar sig längs en väg blir bullerkällan utsträckt längs linjen. Efter att väglinjen var skapad kunde bullerkällan definieras. Man kan utnyttja flera bullerkällor i POINT Buller, men för denna analys behövdes endast en bullerkälla.

### *Ange data om bullerkällan*

För att ge bullerkällan rätt egenskaper angavs trafikmängd, fordonshastighet för vanlig och tung trafik samt andel tung trafik. Vid bullerberäkning tas även hänsyn till vägens längd lutning. I och med att en digital karta med höjdinformation utnyttjades, beräknade programmet själv lutningen av vägen längs den definierade väglinjen. Denna delades automatiskt upp i 5 m element, där lutningen kunde kontrolleras i programmet.

*Tabell 10:1 Indata för bullerberäkning (Trafikkontoret, Göteborgs stad)*

---

Trafikmängd:	12 400 fordon/dygn
Hastighet (vanlig och tung trafik):	50 km/h
Andel tung trafik:	5 %

### *Skapa/Identifiera byggnader*

I POINT Buller finns en funktion som automatiskt identifierar byggnader och numrerar dem. Detta arbete underlättas om byggnaderna finns i kartmaterialet från början. Man kan även skapa byggnader i programmet. Utöver identifieringen finns möjlighet att ange hur höga byggnaderna skall vara, vilken nivå respektive husdel befinner sig på samt placering och nivå av taknock. Tillsammans ger denna information en tredimensionell bild av byggnaderna i POINT Buller.

### *Skapa bullerskärmar*

I den använda terrängmodellen fanns i huvudsak endast information om markytan. För stolpar, träd, plank m m fanns endast information om läge i plan samt nivån på markytan. För att kunna utföra en korrekt beräkning måste man utöver byggnader ange eventuella skärmar som inte finns i terrängmodellen. Längs Björlandavägen fanns flera partier med bullerplank, vilka skapades i POINT Buller och då ingick i bullerberäkningen.

## **Hård mark**

Vid beräkning av vägtrafikbuller är det av intresse att veta om den markyta som finns mellan bullerkällan och beräkningspunkten är hård eller mjuk. Då en hård yta ligger mellan bullerkällan och beräkningspunkten utgör den en reflektionsyta med marginell dämpningseffekt. Skulle markytan istället vara mjuk får man se en markdämpning av bullret, som då minskar. I POINT Buller utgår man från att markytan är mjuk och anger eventuella hårda ytor separat.

## **Definiera beräkningspunkter**

I POINT Buller kan man utföra bullerberäkningar för olika slags punkter. Man kan definiera egna punkter på bestämda platser eller skapa rutnät. Egna punkter markeras en och en, där man är intresserad av att beräkna bullernivån, och består vanligtvis av punkter vid enskilda byggnader. Utöver att bestämma beräkningspunktens läge i plan kan även beräkning ske för de olika våningarna i byggnaden. Ett rutnät används då man är intresserad av hur bullerutbredningen sker över ett område. Rutnätet kan skapas med orientering i en bestämd riktning samt med vilken täthet punkterna skall ha. För beräkningen av Björlandavägen valdes beräkning med rutnät. På detta sätt kan man lättare se eventuella skillnader mellan beräkningarna och bättre illustrera hur bullret breder ut sig.

Beräkningsområdet definierades med en begränsningslinje 25 m på varje sida om vägmitt. Punkttätheten valdes till 10×10 m, med en beräkningshöjd av 2 m ovanför markytan.

### **10.2.3 Utföra bullerberäkning**

Då förutsättningarna för beräkningen var klara kontrollerades att alla värden var i ordning. Därefter gjordes den första beräkningen. I POINT Buller kan man göra sk globala inställningar för beräkningarna, där man kan ange att programmet skall varna för avvikelser i höjd. Vid beräkningen gavs varningar för fel i beräkning, beroende på att informationen i terrängmodellen var för gles i vissa partier. Efter komplettering av terrängmodellen sparades den på nytt i databasen och en ny beräkning gjordes.

### **10.2.4 Presentation av resultat**

Resultaten från beräkningarna kan som tidigare nämnts presenteras på olika sätt i POINT Buller. Man kan dels ta fram textfiler, där beräkningsdata redovisas, och dels bullerkartor. Textfilerna innehåller all information om indata samt alla beräknade punkter. Bullerkartorna kan innehålla bullernivåkurvor och olika färgade ytor för bullernivåer. Fördelen med en bullerkarta är att den på ett enkelt sätt illustrerar bullernivåerna över ett större område. Man kan utöver de färgade ytorna samt bullernivåkurvorna även presentera bullernivåer för varje beräknad punkt.

## **10.3 Resultat**

I och med att förutsättningarna för de två beräkningarna var något olika, måste hänsyn tas till detta vid beräkningarna. Den största skillnaden initieellt var terrängmodellerna för beräkningarna. Efter att ha genomfört beräkning med grundkartan som underlag skulle även en beräkning göras med de inmätta terrängsektionerna som underlag. Då information endast fanns i sektioner skulle det kunna skapa problem vid beräkningen, då programmet kräver att datan skall täcka hela ytan. För att åtgärda detta gjordes en triangelmodell baserad endast på markytan i terrängsektionerna. Vid bullerberäkningen med denna modell som underlag klarade programmet inte av att utföra beräkningen. Orsaken till detta var att modellen inte täckte hela beräkningsområdet. För att kunna genomföra beräkningen behövde modellen förändras. Istället för att utnyttja triangelmodellen

gjordes en ny terrängmodell. I denna modell användes först och främst terrängsektionerna, som innehöll information om markytan. Utöver terrängsektionerna utnyttjades grundkartan som underlag. Denna gång gick det att genomföra bullerberäkningar. På samma sätt som för beräkningen med grundkartan togs bullerkarta och bullernivåkurvor fram för resultaten.

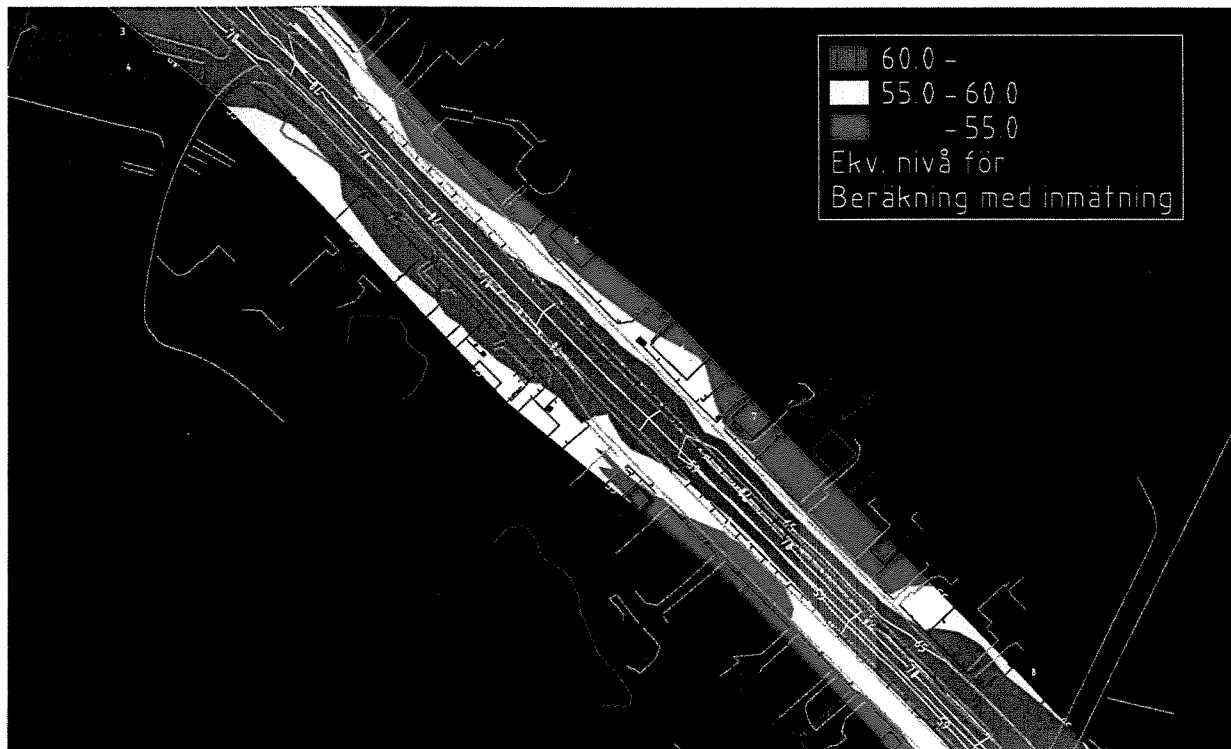
Utöver problemen med terrängmodellen för inmätningen fanns andra skillnader. Den mest markanta var byggnaderna. I grundkartan fanns alla byggnader längs Björlandavägen med. Detta underlättade arbetet med beräkningen samt att beräkningen blev mer korrekt. Då beräkningen skulle ske med det inmätta materialet användes endast de byggnader som blivit inmätta. Detta innebar att totalt 9 byggnader användes vid denna beräkning jämfört med 310 st för beräkningen med grundkartan. Detta är en viktig faktor, då ett stort intresse finns av att känna till positionen av så många byggnader som möjligt längs den vägsträcka som skall beräknas. Utöver positionen kunde även byggnadshöjden anges i de flesta fall då fasaderna på husen blivit inmätta.

Andra skillnader mellan ingångsvärdena var bullerplankens placeringen, vilket skiljer sig något mellan de två beräkningarna, eftersom grundkartan inte överensstämde med inmätningarna. I första hand var det positionen av planken, dess start och slutpunkter. Då inmätning skett med 10 m intervall har all nödvändig information inte kunnat mätas.

Studerar man resultaten från beräkningarna ser man att skillnaderna i vissa fall är ganska stora, men överlag var resultaten lika (figur 10:1 och 10:2)



Figur 10:1 Bullerberäkning med grundkarta som underlag.



Figur 10:2 Bullerberäkning med inmätning som underlag.

# 11 Slutsatser

## 11.1 Mätmodell

### 11.1.1 Mätutrustning

Med de uppgifter som presenterats angående mätutrustningen kan man dra vissa slutsatser. När det gäller lasern har den en begränsad mätsektor av  $270^\circ$  per varv och klarar inte att mäta allt av intresse i en sektion. Denna begränsning kan påverka mätningar i vissa fall då man behöver mäta både markyta vid mätfordonet och objekt som befinner sig högt placerade i sida. Att lasern inte klarar av att mäta tätare än  $0,6^\circ$  mellan mätpunkterna i radiell led är både bra och dåligt. De teoretiskt beräknade värdena på 1,047 m täthet mellan mätpunkter på 100 m avstånd är i sig bra, men hur blir resultatet vid praktisk mätning?

Den övriga mätutrustningen var av varierande noggrannhet. Att behöva kompensera mätning i längdled manuellt är inte någon bra lösning. Man borde kunna utnyttja en självjusterande kompensering av längd lutningen på samma sätt som sidolutningen kompenseras. Det största problemet med utrustningen var trippmätaren. Med en noggrannhet av 1 m och en utrustning som inte var rätt kalibrerad medförde detta att mätningen behäftades med stora fel. Vid kontroll uppvisade mätningen ett systematiskt fel av 1,2 m på 100 m. För att åtgärda felet gjordes en felutjämning med stöd av mätdata och grundkartan. Denna felutjämning uppvisade inte alltför stora avvikelser, men frågan om dess noggrannhet kvarstår ännu.

För att göra en utvärdering av den kommande mätningen gjordes en simulering av en generell mätsituation. Här antogs att mätning skall ske på en horisontell yta och lasern placerad som på mätfordonet, 1,1 m över markytan. Som resultat från undersökningen erhöles värden på laserns prestanda, vilket visar att noggrannheten minskar med ökat avstånd. Detta är inget ovanligt resultat då det är likadant för alla mätmetoder d v s att noggrannheten hos metoden minskar med ökande mätavstånd. Vid maximalt mätavstånd av 25 m blir tätheten mellan mätpunkterna ungefär 5 m, vilket kommer att inverka negativt på mätresultatet trots att det inte verkar vara ett stort värde. Enligt de krav på noggrannhet som angivits, 0,5 m i plan och i höjd, klarar mätmetoden inte av korrekt mätning i alla lägen. Vid mätning av vertikala objekt klarar metoden avstånd upp till 50 m och vid horisontella ytor minskar maximalt mätavstånd till ungefär 8 m.

### 11.1.2 Referensobjektet

Syftet med att använda ett referensobjekt var två. Dels skulle det inmätta materialet jämföras med ett referensmaterial och dels skulle mätningens läge bestämmas. Då ingen kompletterande mätning utfördes för kontroll av mätningen var detta en viktig del i undersökningen. I och med att Göteborgs kommun har en digital grundkarta, med 0,05-0,20 m noggrannhet i plan- och höjd, ansågs att objektet borde ligga inom grundkartans täckning. Med detta och andra urvalsfaktorer valdes Björlandavägen som referensobjekt då den bedömdes uppfylla de krav som ställdes.

Det valda objektet uppvisade varierande egenskaper för att pröva begränsningarna i mätmetoden. Då det både fanns villor, hyreshus samt andra intressanta objekt längs sträckan föll valet av objekt väl ut. Att begränsa längden av mätsträckan till 2,5 km bedömdes som tillräcklig, då mätdata annars hade blivit för omfattande. En skyltad hastighet av 50 km/h och 7,5 m vägbredd för Björlandavägen innebar inga större svårigheter ur säkerhetsmässig synpunkt vid mätningen.

### **11.1.3 Mätning**

När mätningen genomfördes upptäcktes en del av de problem som den använda metoden har. Det första gällde den manuella kompenseringen av lutningen i längdled. Detta moment minskar noggrannheten hos resultatet och innebär ett extra arbetsmoment för operatören av utrustningen. Det kan finnas risk att man glömmer av att kompensera för lutningen i vissa situationer. Ett annat problem som uppstod vid mätningen var de trafikköer som stundtals bildades bakom mätfordonet, vilket medförde att mätningen fick avbrytas vid ett par tillfällen då mätfordonet fick köra intill väggkanten för att släppa fram trafik. Detta påverkade mätningen till viss del och kan ha inneburit mindre felaktigheter i resultatet.

I och med att lasern maximalt kunde mäta 25 m åt varje sida fick den planerade mätningen minskas. Eftersom byggnaderna från sektion 1/400 låg längre från vägen än 30 m fanns ingen anledning att fortsätta mätningen. Trots detta kunde det material som inmätts användas för utvärdering. På grund av minskningen av den planerade sträckan kunde inte mätning mot hyreshus bedömas.

Tidsmässigt tog mätningen av 1,4 km väg ungefär 2 timmar. Det innebär att mätningen genomfördes med en hastighet av 1 sektion per minut vilket får anses som mycket bra.

### **11.2 Resultat och analys**

Det arbete som skedde efter att mätningen genomförts var uppdelad i två delar. Först skulle mätdatan redigeras och därefter analyseras med avseende på noggrannhet i plan- och i höjd.

Arbetet med att redigera mätdatan var ganska omfattande. När koordinatfilen med mätdata överförts till NovaPOINT var mätpunkterna i varje sektion sammanbundna med en linje. Med hjälp av fotografier tagna längs Björlandavägen, och med stöd av grundkartan, kunde relevant mätdata sparas i sektionerna. I bilaga 1 och 2 visas exempel på oredigerade och redigerade mätdata. Den mätdata som har redigerats bort har i huvudsak varit träd och buskar, som inte behövs vid bullerberäkning (se 10.1 "Att beräkna vägtrafikbuller"). Resultatet från redigeringen beror mycket på vem som utför arbetet. Då mätmetoden är ointelligent och inte urskiljer viktig information från övrig information skapar detta problem vid användning av mätdatan.

Utöver redigeringsarbetet behövdes mycket tid för att koordinatbestämma mätningarna. Anledningen till detta var att ingen annan metod för koordinatbestämning användes. Genom att utnyttja information från grundkartan, avståndet till inmätt väggkant och längdmätningen från mätningen, kunde mätdatans läge bestämmas. Genomförandet av detta arbete var omständigt och möjligheten till fel stor. Utöver detta var det svårt att få exakta värden från inmätningen, då den inte stämde överens med grundkartan. Sammantaget måste en annan metod användas för att koordinatbestämma mätdatan. Arbetet tog för lång tid och det var stor risk för fel, vilket resulterade i felaktiga slutresultat.

Vid jämförelse mellan mätdata och grundkarta upptäcktes ett mätfel orsakat av att trippmätaren i mätfordonet var felkalibrerad (se 11.1.1 "Mätutrustning"). Felet utjämnades för mätdatan och innebar ytterligare problem i det fortsatta arbetet. I och med att räknade linjer användes för att beräkna placering av annan information gav det merarbete som kunde ha undvikits.

### 11.2.1 Täckningsgrad och noggrannhet

För att avgöra hur noggrann mätdata var, gjordes en jämförelse mellan mätdata och grundkartan. Analysen av mätdata var uppdelat i tre delar där täckningsgrad, noggrannhet i höjd och noggrannhet i sida studerades.

Täckningsgraden varierade mycket på grund av den miljö som mätningen utfördes i, väder, utrustning, placering av lasern och trafik. Utifrån detta var det svårt att avgöra hur väl resultatet från mätningen överensstämde med önskat resultat. Med tabeller och diagram erhöles en uppfattning av hur täckningsgraden varierade mellan de olika sektionerna. Huvudsakligen var det plank, växtlighet, byggnader och andra objekt som utgjorde hinder för laserstrålen. Genom att kategorisera plank, byggnader, växtlighet och hinderfri mätning erhöles värden på mätningen. Eftersom lasern maximalt kunde mäta 25 m åt varje sida, innebar det att inmätt avstånd på 25 m var maximal täckningsgrad dvs 100 %. Plank och växtlighet hade hämmat mätningen i större utsträckning än byggnader, med ett slutvärde på 30 % för plank och 64 % för växtlighet. Anledningen är att träd och buskar har befunnit sig närmare vägen och då hindrat mätningen. För den hinderfria mätningen och för byggnader erhöles ett resultat på 84 %. Orsaken till att det inte blev 100 % är troligtvis att tätheten mellan mätpunkterna var för gles på 25 m avstånd. Den sammanlagda täckningsgraden för den studerade vägsträckan blev 54 %.

Vid analysen av höjdnoggrannheten studerades varannan sektion dvs var 20:e m. Trots detta gav de studerade sektionerna en förhållandevis stor mängd mätdata. Genom att mäta skillnaden mellan referenssektioner och inmätta sektioner kunde värden på skillnaden fås. Med Excel analyserades de uppmätta värdena med hjälp av statistiska funktioner. Från denna analys blev resultatet att avvikelser i höjd totalt var 0,075 m över referensytan (grundkartan). Med en standardavvikelse på 0,166 m och ett medelvärde på 0,075 m gav det en spännvidd på -0,09 m till +0,24 m. Jämför man med grundkartans noggrannhet ligger mätresultatet i överkant men inte helt fel. Max- och minvärdena +2,3 m och -0,84 m är för stora för att mätningen skall vara godtagbar.

Kontrollen av noggrannhet i sida gjordes genom att mäta avståndet från laserns position till ett vertikalt objekt, såsom en byggnad eller ett plank. Avstånd mättes både för grundkarta och för mätdata och mätfelet mellan dem kunde beräknas. Med hjälp av de uppmätta avstånden och mätfelet kunde ljudtrycket beräknas för olika avstånd och för olika mätfel. Dessa värden plottades sedan i ett diagram för att lättare kunna analyseras. Då 0,5 dB(A) anses vara ett gränsvärde för skillnaden mellan beräknade och uppmätta bullernivåer användes detta värde i analysen. Det framkom att 5 m avstånd ger 0,7 m mätfel 0,5 dB(A). Då mätdata är otillräcklig kan man ändå anta att felet i ljudtrycksnivån minskar med ökat mätavstånd. Det innebär att mätmetoden troligtvis inte kommer att påverka en bullerberäkning vid det studerade avståndet. Dock saknas det mätdata för att ge en entydigt svar och vidare studier bör genomföras.

### 11.3 Bullerberäkning

För att kontrollera hur användbar mätdata var som underlag för beräkning av vägtrafikbuller gjordes bullerberäkningar för samma vägsträcka och förutsättningar. Genom att använda både



grundkartan och mätdatan som underlag kunde en jämförelse göras. Syftet med detta var i huvudsak att se hur väl mätdatan går att använda vid bullerberäkning med POINT Buller.

Den största skillnaden mellan beräkningarna var terrängmodellerna. Det underlag som utgjordes av inmätningarna räckte inte utan en ny terrängmodell fick göras. Den baserades på inmätningarna och grundkartan. Detta visar att man kanske inte alltid kan lita på ett underlag, utan att det kan finnas behov av kompletteringar.

Utöver terrängmodellen fanns det skillnader mellan byggnaderna och planken i respektive underlag. I underlaget till grundkartan fanns 310 byggnader jämfört med de 9 som fanns i mätdatan. Det som skilde informationen om planken var dess läge i förhållande till vägen samt start och slutpunkter. Med dessa skillnader blev resultaten olika vid bullerberäkningen. De beräknade bullernivåerna presenterades i form av en bullerutbredningskarta för varje beräkning. Studerar man dessa resultat ser man i vissa fall ganska stora avvikelser beroende på skillnader i beräkningsunderlaget.

Den slutliga bedömningen är att det kan vara svårt att lita på beräkningar baserade på mätningar med fordonsburen laserscanning, främst beroende på resultatet från inmätningen. Saknas mycket information om det studerade området kan det påverka de bullerberäkningar som görs och visa felaktiga resultat. Vid användning av fordonsburen laserscanning måste dess användning och mätdatan från inmätning bedömas kritiskt för varje enskilt fall.

## 11.4 Sammanfattning

### Fördelar

- \* Snabb mätmetod – en inmätt sektion per minut.
- \* Lättanvänd, endast två personer behövs vid mätning.
- \* Hög rörlighet och god effektivitet.
- \* Ger möjlighet att korrigera mätning i fält då mätdatan presenteras på bildskärm.
- \* Snabb behandling av mätdata.
- \* Skapar mycket mätdata på kort tid.
- \* Billig

### Nackdelar

- ✓ Begränsad kapacitet hos lasern, mäter endast 270° per varv och maximalt 25 m avstånd.
- ✓ Manuell kompensering av längd lutning.
- ✓ Trippmätaren vid mätningen var EJ kalibrerad vilket medförde mätfel.
- ✓ Problem kan uppstå vid positionering p g a övrig trafik.
- ✓ Mätmetoden uppfyller inte 0,5 m noggrannhet i plan- och höjd vid mätning på 25 m avstånd.
- ✓ Mätning av vertikala objekt – 50 m mätavstånd, vid horisontella objekt – 8 m mätavstånd
- ✓ Höjdnoggrannhet var 0,075 m över referensytan med 0,166 m standardavvikelse.
- ✓ För stora höjdavvikelser i mätdata, mellan -2,3 till + 0,84 m.
- ✓ Täckningsgrad var totalt 54% och 84% vid hinderfri mätning.
- ✓ Mätmetoden påverkar troligtvis EJ resultatet vid en bullerberäkning.
- ✓ Mycket arbete med redigering och bearbetning av mätdata vilket kan ge felaktiga resultat.
- ✓ Vid bullerberäkning kan mätdatan behöva kompletteras
- ✓ Fordonsburen laserscanning är i sin nuvarande utformning ingen bra metod för inmätning.

## 12 Fortsatta studier

Då utrustningen och metoden har befunnits inte vara optimerad i sin nuvarande utformning skulle vidare utveckling av metoden kunna ge bättre resultat. De förändringar av metoden som behövs är dels mätutrustningen i sig och dels att hitta de effektivaste sätten att använda utrustningen. Först och främst måste ytterligare studier göras av de delar av denna undersökning där resultatet inte har varit entydigt. Detta gäller mätning med utrustning som har längre mätavstånd än 25 m. Mätningar i fler miljöer och situationer bör också genomföras för att få ett bättre underlag för metodens begränsningar.

Som laserenheten är utformad idag behöver den vidareutvecklas d v s få bättre räckvidd och kraftigare signal. En sådan förbättring skulle medföra att lasern mäter längre och inte är lika känslig för störningar som den är idag. Att lasern får en kraftigare signal förbättrar troligen dess möjlighet att ge bra reflektion mot mätobjektet och större sannolikhet att man kan mäta in det man önskar mäta. Dessutom skulle en ökad täthet mellan mätpunkterna öka antal inmätta punkter på längre avstånd och göra mätningen bättre.

Genom att placera laserenheten högre på fordonet kan man få bättre täckning av det område man önskar mäta. I kapitel 7.3 "Mätbegränsning" har en högre placering av lasern undersökts genom en teoretisk kontroll. Denna kontroll utgick från de förutsättningar som finns för höga fordonsekipage i trafiken. Det främsta problemet med höga fordon är i huvudsak broar, luftledningar, stolpar och portaler. En placering av lasern på 5 m höjd skulle kunna förbättra mätningen avsevärt. Utöver att tätheten mellan mätpunkterna ökar finns större sannolikhet att mätstrålen inte skärmas av terräng eller objekt inom mätområdet. En hög placering av lasern medför vissa risker vid körning i trafik och uppmärksamhet måste visas vid partier med låg hinderfrihet.

Positioneringen av mätdata behöver förbättras med någon form av kompletterande utrustning. Som exempel kan dGPS (differentiell GPS) eller totalstation vara alternativ. Med dGPS-utrustning kan den placeras i mätfordonet och behöver inte styras. Vid användning av en totalstation skulle det enklaste vara en servostyrd totalstation. Fördelen med detta är att den endast behöver övervakas och inte styras manuellt. Om mätpunkt och datalagringsenheten finns i mätfordonet förenklas arbetet ytterligare. För användning av dGPS eller totalstation skall lagring av koordinatdata för mätningen ske samtidigt som mätning sker. Detta underlättar lokalisering av mätdata och höjer dess noggrannhet. Hur noggrann mätdata blir beror på vilken utrustning som används vid positionering. Till detta kommer kompletterande information om lutning i sida och längd. Istället för endast automatisk kompensation av lutning i sida behöver både lutningen i sida och längd kompenseras automatiskt. Utöver den normala positioneringsutrustningen behövs en trippmätare av bra kvalitet som komplement. Skulle inte positionsbestämning med huvudmetoden fungera kan ändå läget bestämmas med hjälp av trippmätare. Informationen från trippmätaren skall kunna lagras i mätdata.

All mätdata skall kunna lagras snabbt och enkelt. Förmodligen behövs någon form av pc med ett datorprogram som kan samla och bearbeta informationen. Programmet skall vara optimerat för geodetisk mätning med den utrustning som används. Mätdata skall enkelt kunna presenteras

med information om varje inmätt punkts koordinater utan ytterligare behov av bearbetning av datan.

Utöver de tidigare nämnda förslagen skulle bild eller videofilmning av det som blir inmätt vara ett bra komplement. Anledning till att spara bildinformation över inmätningen skulle vara flera. Utöver att den kan användas vid bearbetning av mätdata skulle man kunna dokumentera det område som blir inmätt för ytterligare studier och som referens. Bildregistreringen som sker skall kunna kopplas till mätdatan för att lokalisera bilderna i rummet.

Det skulle vara av intresse att hitta andra användningsområden än bara för beräkning av vägtrafikbuller. Alla typer av mätning eller informationshämtning av gator och vägar skulle kunna utnyttja denna metod. Exempel på detta är inventering och inmätning av gator och vägar, trafikmärken, hinderfrihet och ytbeläggningar längs gator och vägar. Detta är endast några exempel på vad metoden skulle kunna användas till.

## 13 Referenslista/Litteraturförteckning

Naturvårdsverket (1996), *Vägtrafikbuller Nordisk beräkningsmodell, reviderad 1996*, Rapport 4653, Stockholm 1996/11.

ISBN 91-620-4653-5, ISSN 0282-7298.

CADPOINT AB (1998), *POINT Buller, Version 5.2, Användarhandbok*.

E. Kjellson, GF Konsult AB (Intervju 1999)

J. Rödström, Flygfältsbyrån (Intervju 1999)

IBEO Lasertechnik (1994), *LADAR 2B-B1*, data sheet.

LKO Teknik AB/L-KOPIA Inc. (2000)

URL:

[http://www.lko.se/index\\_se.htm](http://www.lko.se/index_se.htm) (Acc. 2000-05-10)

L-kopia/LKO (1998), *Clearance laser system, Program manual, December 1998*  
*L&L (all) version 12/08/1998*.

Saab Survey System AB (1997), *Saab TopEye, Technical Description Saab TopEye Topographical Survey System .TOP-97031*

URL:

<http://www.combitech.se/survey/> (Acc 2000-05-10)

Lantmäteriverket (1999)

URL:

<http://www.metria.com/gsd/index.htm> (Acc. 2000-05-10)

Göteborgs kommun, Stadsbyggnadskontoret

URL:

<http://www3.goteborg.se/stadsmatningen/index.html> (Acc. 2000-05-10)

Nordiska Vägtekniska Förbundet (2000),

*Utskott 11. Informationsteknologi, Projektet "Nya och effektivare datafångstmetoder"*

<http://www.vianova.no/nvf/utvalg11/prosjekter/datafangstmetoder/index.htm> (Acc 2000-05-10)

M. Pettersson, Examensarbete (2000), *Utvärdering av vektoriseringsprogram*

URL:

<http://home6.swipnet.se/~w-61547/examensarbete.htm> (Acc. 2000-05-10)

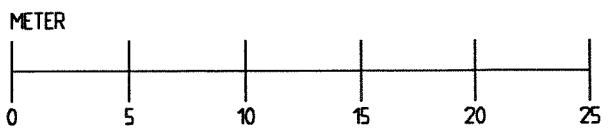
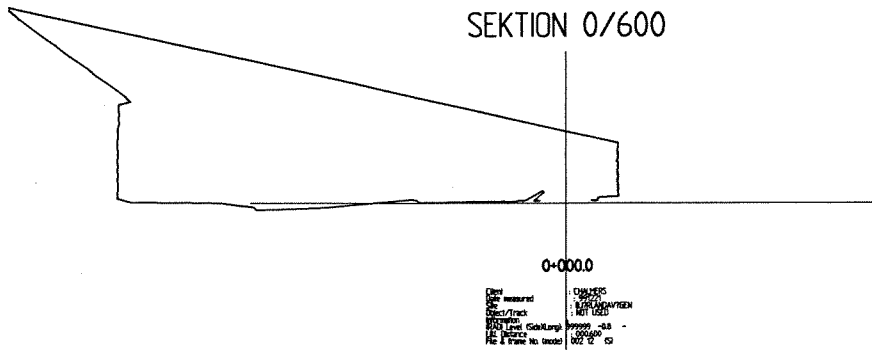
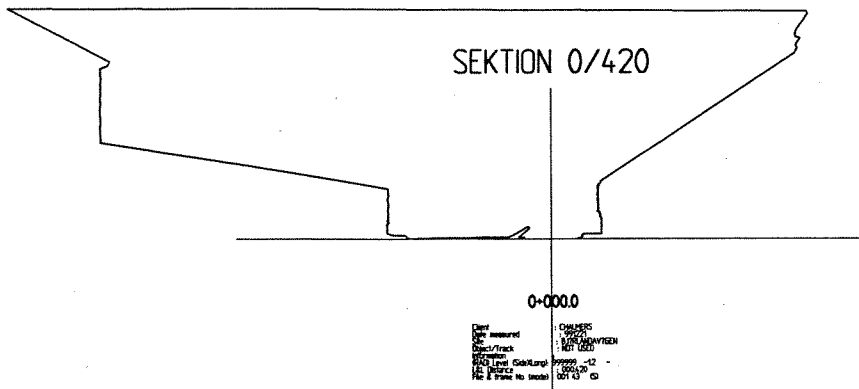
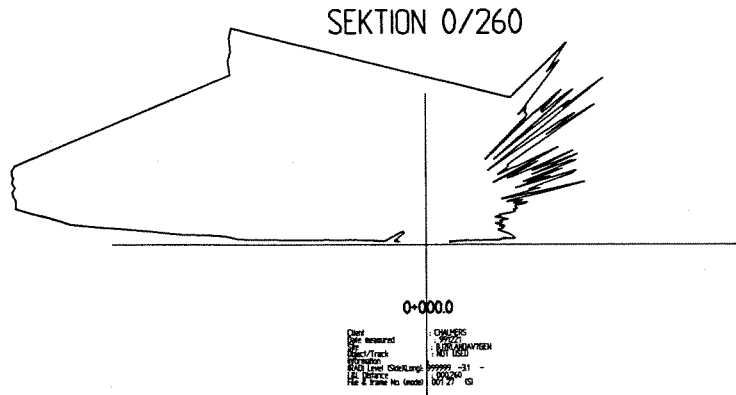
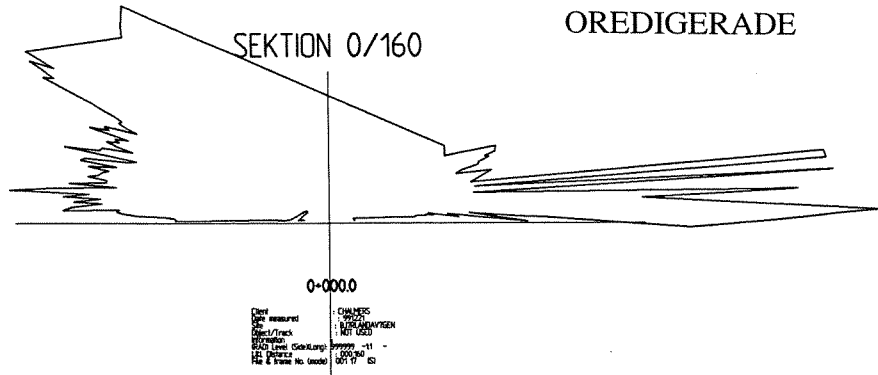
Trafikkontoret Göteborgs stad (1998), *Vägtrafikmätningar Björlandavägen*.

URL:

<http://www.trafikkontoret.goteborg.se/Statistik/trafikmatningar.htm> (Acc. 2000-05-10)

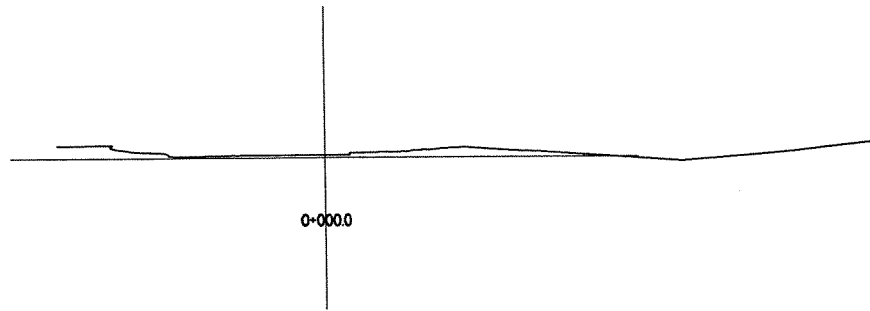
Lahti, Tapio (1984). *Outdoor noise measurements compared with predictions by Nordic models*.  
Espoo. VTT, Tiedotteita / Valtion teknillinen tutkimuskeskus 300.

**BILAGA 1**  
**TVÄRSEKTIONER FRÅN MÄTNING**  
**OREDIGERADE**

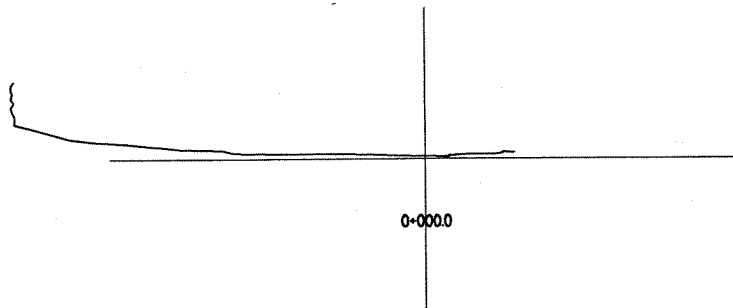


**BILAGA 2**  
TVÄRSEKTIONER FRÅN MÄTNING  
REDIGERADE

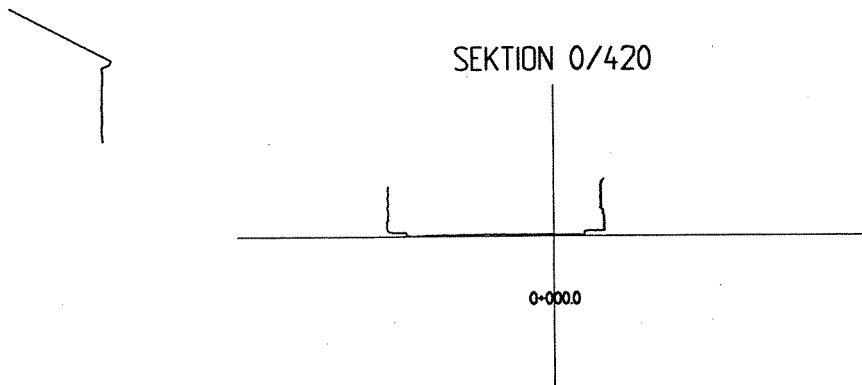
SEKTION 0/160



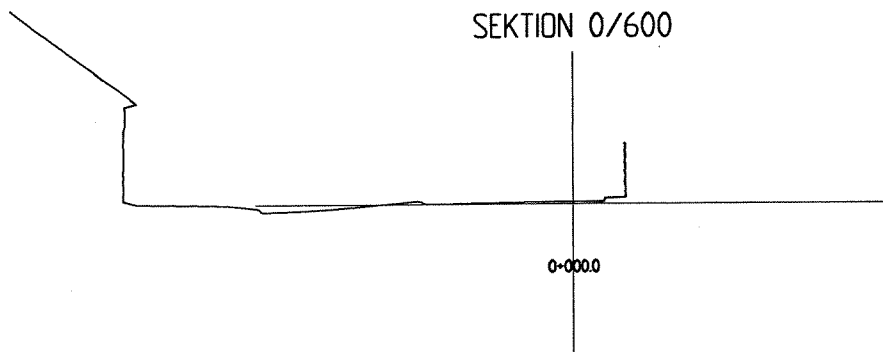
SEKTION 0/260



SEKTION 0/420



SEKTION 0/600



METER

