

# Korjattavan julkisivun mittaus

Matti Lanu

Espoo



ISBN 951-38-4962-7

ISSN 1235-0605

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1996

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT  
puh. vaihde (90) 4561, telekopio 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT  
tel. växel (90) 4561, telefax 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland  
phone internat. + 358 0 4561, telefax + 358 0 456 4374

VTT Rakennustekniikka, Rakennusfysiikka, talo- ja palotekniikka, Kivimiehentie 4, PL 1803, 02044 VTT  
puh. vaihde (90) 4561, telekopio 456 4815

VTT Byggnadsteknik, Byggnadsfysik, hus- och brandteknik, Stenkarlsvägen 4, PB 1803, 02044 VTT  
tel. växel (90) 4561, telefax 456 4815

VTT Building Technology, Building Physics, Building Services and Fire Technology  
Kivimiehentie 4, P.O.Box 1803, FIN-02044 VTT, Finland  
phone internat. + 358 0 4561, telefax + 358 0 456 4815

Tekninen toimitus Kerttu Tirronen

VTT OFFSETPAINO, ESPOO 1996

Lanu, Matti. Korjattavan julkisivun mittaus [Measurement of a building facade for repairs]. Espoo 1996, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes 1767. 28 s.

**UDK** 69.022.3:62-79:69.059.2

**Avainsanat** buildings, facades, external walls, measurement, repairs, machine vision, measuring methods, methods, renovation, cameras, feasibility

## TIIVISTELMÄ

Julkisivujen kosketuksettomia mittausmenetelmiä arvioinut tutkimusryhmä ehdotti koemittauksen toteuttamista, sillä arviota menetelmien käyttökelpoisuudesta ei voi tehdä ilman käytännön kokeilua. Arviot mittauksen onnistumisesta, menetelmän soveltuvuudesta ja kustannusvaikutuksista olivat kokeilulta odotettavat keskeiset tulokset.

Kokeiltavaksi valittiin fotogrammetrinen DVP-menetelmä, johon tarvittavat kuvaparit tuotettiin digitaalikameralla. Kameraksi valittiin Canon ION RC-560, jonka hinta on noin 20 000 mk. Mittaus tehtiin DVP-työasemalla. Käytetyin laitteiston prosessori oli 486-tyyppiä, kellotaajuus 66 Mhz ja keskusmuistin koko 16 MB. Tällaisen perustietokoneen hinta on alle 10 000 mk. Työskentelyä varten tarvitaan ohjelmisto ja näyttölaite, joiden yhteishinta on noin 130 000 mk.

Mittauskohteeksi valittiin helsinkiläinen asunto-osakeyhtiö. Yhtiö koostuu kahdesta L-muotoon asetetusta kolmikerroksisesta asuintalosta, joiden pituudet ovat 47 metriä ja 27 metriä. Talojen korkeus on 12 metriä. Pääasiallinen julkisivumateriaali on rapattu, höyrykarkaistu kevytbetoni. Ikkunat ovat nauhaikkunoita ja osa parvekkeista on sisäänvedettyjä ja osa ulostyönnettyjä. Kohde edustaa hyvin korjattavia taloja ja muutostöissä oli suunniteltu käytettäväksi esivalmisteisiä osia. Mitattaviksi asioiksi sovittiin nurkkapisteet, tasomaisuus ja linjojen suoruus.

Mittaukset ja kuvaukset tehtiin 18.4. - 19.4.1995. Vain pidemmän talon julkisivut mitattiin. Keskeiset työvaiheet olivat signaalimerkkien asennus seinille, runkoverkon merkitseminen ja mittaus takymetrillä, seinillä olevien signaalipisteiden mittaus takymetrillä, kuvaus digitaalikameralla ja kuvaus tarkkuuskameralla vertailua varten. Työaika työmaalla kului noin 41 tuntia. Tähän on laskettu mukaan kuvien digitointi ja kehitys.

Ulostyönnettyistä parvekkeista jäi osia kuvien ulkopuolelle, koska digitaalikameran kuva-ala on ahdas. Kasvillisuus aiheutti myös hankaluuksia. Virheiden aiheuttamaa lisäystä työaikaan ei ole huomioitu. Toisaalta kuvaus voidaan tehdä käsivaralta, jolloin kuvaaminen ja telineillä kiipeily on nopeaa. Runkoverkon ja signaalien mittaus on suurin yksittäinen työvaihe. Signaalimerkkien kiinnittäminen korkealle on hankalaa.

Mittaus DVP-työasemalla sekä tiedonsiirron kokeilut tehtiin diplomityön osana kesän 1995 aikana. Kuvatun neljän julkisivun mittaus vei aikaa 21 tuntia. Mittaustyö edellyttää henkilöä, jolla on hyvä stereonäkökyky. Työskentely laitteistolla on havainnollista, ja kokenut operaattori suorittaa työn nopeasti ja virheettömästi.

Syntyneen julkisivumallin tarkkuus on noin 1:1000, mikä tarkoittaa noin 10 mm julkisivussa. Arvoa on mahdollista parantaa mm. kuvausetäisyyttä pienentämällä tai tarkemmalla kameralla. Nämä toimenpiteet lisäävät kuitenkin joko työmäärää tai laitteistokustannuksia. Toisaalta työn alussa asetettua tarkkuutta 1 - 5 mm on arvosteltu; saneerattavassa seinäpinnassa on harvoin näin tarkkoja yksityiskohtia.

Tiedonsiirrossa AutoCad-ohjelmaan havaittiin hankaluuksia, jotka korostavat vaatimusta, että mittaajan tulisi tuntea rakennusten julkisivun suunnittelu ja erityisesti asiakkaana toimivan valmistavan yrityksen suunnittelujärjestelmät.

Syntynyt julkisivumalli arvioidaan riittäväksi suunnittelun lähtöaineistoksi. Mallia voi tarkentaa täydentämällä mittauksia työasemalla.

Stillvideon käyttämisestä aiheutuva työmäärä vaikuttaa koekohteen valossa siedettävältä. Kokonaistyöaikaa kului noin 60 tuntia. Mitattua seinäneliötä kohden työkustannuksien voidaan laskea olevan noin 11 mk/m<sup>2</sup>. Telineiden, portaiden ja vastaavien varusteiden vuokra neliötä kohden on arvioitu noin 0,50 mk/m<sup>2</sup>. Tämä arvo voi korkeissa kohteissa kasvaa huomattavasti, jos tarvitaan autonosturia tai vastaavaa.

Lanu, Matti. Korjattavan julkisivun mittaus [Measurement of a building facade for repairs]. Espoo 1996, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes 1767. 28 s.

**UDK** 69.022.3:62-79:69.059.2

**Avainsanat** buildings, facades, external walls, measurement, repairs, machine vision, measuring methods, methods, renovation, cameras, feasibility

## ABSTRACT

The working group evaluating the use of non-contact measuring methods for facades recommended carrying out pilot measurements, since the feasibility of the method cannot be assessed without practical experience. The main benefits expected from the tests were evaluation of the success of the measurements, applicability of the method and its costs.

The method chosen was the photogrammetric DVP method, for which the pairs of images needed are produced with a digital camera. The Canon ION RC-560 was chosen as the camera; its price is about FIM20 000. The measurement was made using a DVP workstation. The processor was a 486 type, the clock frequency 66Mhz and the central memory 16MB. The price of such a basic computer is below FIM10 000. The software and display equipment required cost a further FIM130 000.

The building selected for the tests is a residential house company in Helsinki. The company consists of two three-storey buildings arranged in an L-shape; their lengths are 47 and 27 metres and their height 12 metres. The main facade material is plastered, steam-hardened lightweight concrete. The windows are of the band type and some of the balconies are built in and some out. The building is a representative sample of those needing repair. Prefabricated elements are to be used in the repair work. The points for measurement were chosen to be the corner points, evenness and straightness of lines.

The measurements and images were carried out from 18.4. - 19.4.1995. The facade of the longer building only was measured. The main stages of the work were: placing the signal markers on the walls, marking the frame grid and measuring using a tacheometer, measurement of the signal points on the walls using the tacheometer, imaging with the digital camera and imaging with a precision camera for comparison. Work on site amounted to about 41 hours, which includes digitizing and framing the images.

The built-out balconies are partly outside the images, because the digital camera has a narrow image area. Vegetation also caused problems. Additional time caused by errors is not included. On the other hand, the imaging could be done manually, when the imaging and climbing on scaffolding is quick. The measurement of the frame grid and the signals is the largest single stage of the work. The attachment of signal markers is difficult on high points.

The DVP measurements and the information transfer were done as part of a Master's thesis in summer 1995. The measurement of the four facades took 21 hours. The measurement requires a person with good stereovision. The work with the equipment requires perception, and an experienced operator can do the work quickly and faultlessly.

The accuracy of the facade model generated is about 1:1000, i.e. about 10mm for the facade. It is possible to improve the value, for example by shortening the distance from the target and using a more accurate camera. These, however, increase the work required and the equipment costs. Although the accuracy target set at the beginning of the work was 1 - 5 mm, repair work rarely needs such accuracy of detail.

Some problems were noticed with the information transfer AutoCad software; they underlined the requirement that the operator should know the plan of the facade, and particularly the planning methods of the client company.

The facade model generated was evaluated as sufficient as a starting point for planning. The model can be made more accurate by supplementary measurements on the workstation.

The amount of work caused by the use of video stills seemed tolerable with regard to the target building. The total work time was about 60 hours. The work costs per square metre of wall measured can be calculated as about FIM11. The costs of hiring scaffolding, steps and similar equipment per square metre was about FIM0.50. This level may increase significantly in the case of high buildings, if cranes and such like are required.

## ALKUSANAT

Tämä projekti kuuluu osatutkimuksena hankkeeseen "Talotekniikan geoinformatiikan ja tilahallinnan tietojärjestelmä", joka oli mukana TEKESin konenäkö-teknologiaohjelmassa soveltavana teknisenä tutkimuksena. Hankkeen ensimmäinen projektivuosi toteutettiin 1.4.1994 - 31.3.1995 ja toinen projektivuosi vastaavasti 1.5.1995 - 30.4.1996.

Hankkeen ensimmäisen vuoden aikana tehtiin julkisivuihin soveltuvia mittaamenetelmiä, jotka koskivat tarvekartoitusta ja eri menetelmien käytettävyyssarviointia. Tutkimuksessa keskityttiin Partekin ja Rautaruukin tuotteisiin ja arvioitiin markkina-alueisiin. Tässä arvioinnissa päädyttiin pilotoimaan yhtä menetelmää: DVP:tä.

Kokeiltavan mittaamenetelmän valintaan ja sopivan kohteen pohdintaan ovat osallistuneet Antero Kajava Partek Concrete Development Oy:stä ja Marko Moisio Rautaruukki Oy:stä. Lisäksi näissä suunnitteluvaiheissa ovat olleet mukana Markku Pyysalo Oy Partek Ab:stä, Martti Karimies Mäkelä Metals Oy:stä ja Juhani Olin Partek Betonila Oy:stä.

Koemittaus oli hankkeen toisen vuoden pääaihe. Mittauskohteena käytettiin As. Oy Mäkitorpantie 40 julkisivuja Helsingin Oulunkylässä. Kuvaus tehtiin 18. - 21.4.1995. Käytännön kuvaus- ja mittaustyö on tehty Tampereen teknillisen korkeakoulun toimesta; mukana ovat olleet Mauri Laasonen, Petteri Mikkonen, Markku Jenu, Esko Järvinen ja Pasi Laurila. VTT Rakennustekniikasta oli mukana Ilmo Hervanto.

Markku Jenu teki diplomityönään TTKK:ssa professori Hannu Salmenperän valvonnassa julkisivumittauksen ja -mallin DVP-menetelmällä.

Yritysten edustajina osatutkimusta ovat ohjanneet Marko Moisio Rautaruukki Oy:stä, Antero Kajava Partek Concrete Development Oy:stä ja Markku Pyysalo Partek Betonila Oy:stä. Pääprojektin taholta työtä ovat ohjanneet Tapio Majahalme ja Mauri Laasonen TTKK:sta.

Raportin viimeistelyn on tehnyt Tarja Laurikainen VTT Rakennustekniikasta.

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT .....	5
ALKUSANAT .....	7
1 JOHDANTO .....	9
2 KOEMITTAUKSEN TAUSTA.....	10
2.1 LIITTYMÄT MUUHUN PROJEKTIIN .....	10
2.2 MITTAUSKOKEILUN PERUSTELUT .....	10
2.3 TULOSTAVOITTEET JA TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN .....	11
3 KOKEILTU MITTAUSMENETELMÄ, DVP .....	12
4 MITTAUSKOHDE .....	14
4.1 MITTAUSKOHTEEN YLEISPIIRTEET .....	14
4.2 PERUSTELUT KOHTEEN VALINNALLE .....	15
4.3 SANEERAUKSEN SUUNNITTELU .....	15
4.4 MITATTAVAT ASIAT .....	16
5 KOEMITTAUKSEN TOTEUTUS .....	17
5.1 MITTAUKSEN JÄRJESTELYT .....	17
5.2 KUVAUKSET JA MITTAUKSET KOHTEESSA .....	17
5.3 MITTAUKSET DVP-TYÖASEMALLA.....	22
6 TULOKSET JA NIIDEN ARVIOINTI.....	23
6.1 TULOKSEN ARVIOINTIPERUSTEET .....	23
6.2 JULKISIVUMALLI MITTAUSTULOXSISTA .....	23
6.3 MALLIN SIIRTO SUUNNITTELUJÄRJESTELMIIN .....	25
6.4 TIEDON KÄYTTÖKELPOISUUDEN ARVIOINTI .....	25
6.5 KUSTANNUSVAIKUTUSTEN ARVIOINTI .....	26
7 YHTEENVETO .....	27
LÄHDELUETTELO .....	28



# 1 JOHDANTO

Tässä kuvataan erään fotogrammetrisen menetelmän (DVP-menetelmän) soveltuvuutta julkisivumittaukseen.

Tutkimus on toteutettu kokeiluna todellisessa, myöhemmin saneerattavassa kohteessa. Mittaus- ja kuvaustyö on tehty Tampereen Teknisessä Korkeakoulussa (TTKK) diplomityönä ja VTT on arvioinut menettelyn soveltuvuutta yhdessä yritysten kanssa.

DVP-menetelmän (Digital Video Plotter) käyttö tarkoittaa, että kuvamittaus on tehty DVP-työasemalla. Tähän päädyttiin projektin ensimmäisen vuoden arvioiden perusteella (Lanu et al. 1995). Tämän menetelmän etuina nähtiin mm. sen PC-pohjaisuus. Tarvittavien digitoitujen kuvaparien tuottaminen sovittiin tehtäväksi vertailun vuoksi sekä stillvideokameralla että tarkkuuskameralla ja skannerilla.

Koemittauksella tavoitellaan vastausta mm. kysymykseen: ”Onko PC-pohjaisella menetelmällä saavutettavissa nopeasti ja pienellä kehitystyöllä parempi sovellettavuus kuin nykyisin useiden konsulttien käyttämällä takymetrimittauksella?”

Rakennusliikkeet ovat kehittäneet omia menetelmiään ja tuotteitaan julkisivujen korjaamiseen. Mittaus on olennainen osa korjausmenetelmää, sillä vanhoista rakennuksista ei useinkaan ole korjaustyön suunnittelussa tarvittavia piirustuksia mittatietoineen. Perinteiset menetelmät, kuten takymetrimittaus, ovat koettuja ja riskittämiä, toisin kuin tässä pilotiksi ehdotettava menetelmä. Tämän vuoksi vaaka kallistuu käytännön työssä helposti perinteisten menetelmien kannalle.

Remonttiohjelmassa (Petrov 1994) on todettu, että julkisivumittaukseen on tarjolla lukuisia eri menetelmiä. Toisaalta todetaan, että esimerkiksi analyyttisellä kartoituskojeella stereokuvapareista tehtävä mittaus on liian työläs käytännön kohteessa. Kokeiltava menetelmä näyttää tässä suhteessa lupaavalta.

## 2 KOEMITTAUKSEN TAUSTA

### 2.1 LIITTYMÄT MUUHUN PROJEKTIIN

Talotekniikan, geoinfomatiikan ja tilahallinnan tietojärjestelmä - tutkimushankkeen osatutkimukset olivat seuraavat:

1. Videomittaukseen pohjautuva tilahallinta- ja asennusmittausjärjestelmä (TTKK)
2. Videokuvaan pohjautuva mittausjärjestelmä, joka tuottaa 3D-vektorigrafiikkaa ja mahdollistaa oheistiedon käsittelyn (TKK)
3. Julkisivujen korjaus- ja mittaustarve (VTT).

Viimeinen näistä osatutkimuksista keskittyi julkisivuihin, ja sen yhtenä tulostavoitteena oli olemassa olevien ja potentiaalisten uusien mittausmenetelmien arvioiminen siten, että voitaisiin tehdä ehdotus käytettävästä menetelmästä tulevilla tuotekehityshankkeissa.

### 2.2 MITTAUSKOKEILUN PERUSTELUT

Projektin ensimmäisen vuoden tuloksien perusteella todettiin, että arviota tuotekehityshankkeen pohjaksi ei kyetä tekemään ilman kokeilua.

Mittaus päätettiin toteuttaa vuoden 1995 aikana jossain sellaisessa käytännön kohteessa, jonka saneerausta suunnitellaan. TTKK sai tehtäväkseen kuvauksen, kuvista tehtävän mittauksen ja tulosten käsittelyn. Kuvamittaus, siihen liittyvä analysointi ja tutkimus toteutettiin diplomityönä. Mittaussuunnitelman, tulosten käytettävyyssarvion ja kustannusvaikutuksen arvioimisen tekivät VTT, Partek Concrete Development ja Rautaruukki. Pilotin valmistelulle sovittiin seuraavat rajoitukset:

- + pyritään nopeasti sovellettavaan menetelmään kaupallisilla tuotteilla
- + ei tehdä kilpailevaa haaraa hankkeen muissa osatutkimuksissa kehitettävälle menetelmille kuten liikkuvan videokameran käyttämiselle tai laserprofiloinnille
- + käytetään DVP-työasemaa
- + kuvaus tehdään tarkkuusvertailujen tekemiseksi kahdella menetelmällä:
  - \* tarkkuuskameralla ja skannerilla
  - \* stillvideolla.

Täyden mittakaavan kokeiluun houkuttelivat mm. TTKK:uun kertyneet myönteiset kokemukset DVP-työaseman käytöstä digitaalisten stereokuvaparien käsittelyssä.

Hyviä kehitysnäkymiä tarjoava menetelmä on liikkuvan videokameran käyttäminen mittauksessa tarvittavan kuva-aineiston tuottamiseen. Menetelmän edut tulevat esille varsinkin sisämittauksissa ja sitä on kehitetty tilahallinnan tarpeita silmällä

pitäen. Videomittausmenetelmä näyttää kuitenkin olevan sovellettavissa vasta hyvin pitkän ajan kuluttua. Videokameralla syntyvän suuren kuvamäärän käsitteleminen vaatii tehokkaat laitteet ja ohjelmat. Menetelmän matemaattinen perusta on toki olemassa, mutta mittausohjelmia ja niihin soveltuvia massamuistien ohjaamiseen tarvittavia ajureita ei ole vielä olemassa yleisesti hyväksytyssä standardoidussa muodossa. On myös nähty, että julkisivujen korjaus poikkeaa odotuksiltaan ja ongelmiltaan tilahallinnasta.

Laserprofiloinnin nähtiin soveltuvan videomittaukseen helpommin julkisivujen mittaukseen. Maksimipoikkeamat paikkatietoineen on juuri toivottavaa mittauksetietoa saneerattavasta julkisivusta (Lanu et. al. 1995). Tämäkin menetelmä vaatii vielä runsaasti kehittämistä, vaikka sitä on jonkin verran kokeiltu erilaisiin kohteisiin.

Toteutettu digitaalisen julkisivun mittausjärjestelmän kokeilu ja kehittäminen palvelee lähinnä tulevaisuutta. Tulevaisuudessa digitaaliset mittausjärjestelmät syrjäyttävät perinteiset mittaukset ja nyt saatava kokemus helpottaa uusien sovellusten kehittämistä.

## 2.3 TULOSTAVOITTEET JA TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN

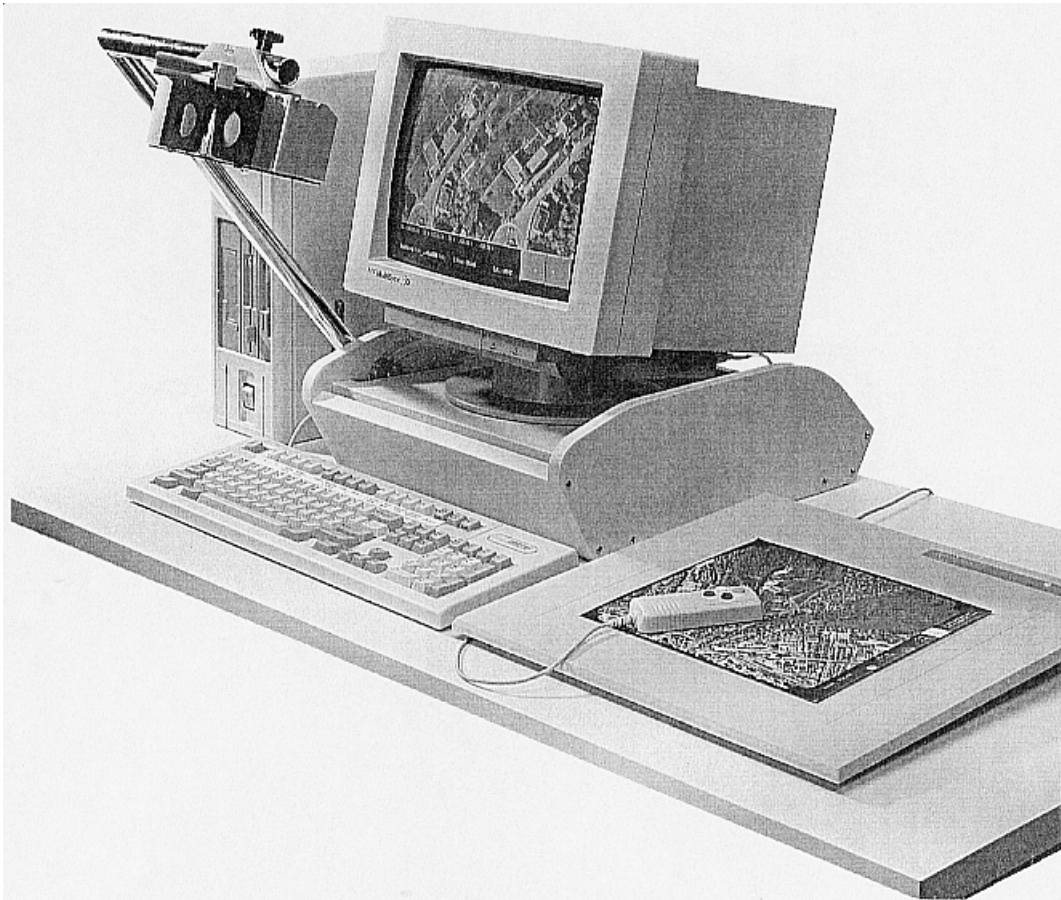
Mittauksen kokeilulla tavoiteltiin vastausta kysymykseen: ”Onko PC-pohjaisella menetelmällä saavutettavissa videomittaukseen nopeammin parempi sovellettavuus kuin nykyisin useiden mittauskonsulttien käyttämällä takymetrimittauksella?” Yksilöityjä tulostavoitteita olivat mm. seuraavat:

- onnistunut julkisivumittaus valitulla menetelmällä todellisessa kohteessa
- käytettävyyssarvio
- kustannusvaikutukset
- ehdotus kehitystarpeista.

Projektilta odotettavat keskeiset tulokset olivat arvio valitun mittausmenetelmän soveltuvuudesta julkisivumittaukseen ja ehdotukset tarvittavista kehitystoimenpiteistä. Mukana olleet yritykset tarvitsevat näitä tuloksia omien tuotekehityshankkeidensa lähtötiedoiksi.

### 3 KOKEILTU MITTAUSMENETELMÄ, DVP

DVP (Digital Video Plotter) on fotogrammetrista mittausta varten kehitetty digitaalisen kuvan käsittelyohjelma. Ohjelma toimii tavanomaisessa PC:ssä. Keskeinen lisälaitte on näyttöruudun päälle tuleva stereoskooppinen linssilaitte, jonka avulla kuvia voidaan katsoa kolmiulotteisesti. Tavanomainen toimistokäytössä oleva PC tai PS-2 tietokone soveltuu muilta osin mittaustyöhön. Laitteiston mahdollista kokoonpanoa on tarkemmin selvitetty TTKK:n kokeissa (Mikkonen 1994, Jenu 1996). DVP-työasemia tuo maahan Leica-Nilomark Oy, esimerkki tällaisesta on kuvassa 1.



*Kuva 1. DVP-työasema (Leican esite).*

Kuten perinteisessä fotogrammetrisessä mittauksessa, myös DVP:llä mittaus tapahtuu stereokuvapareista. Tässä tutkimuksessa kuvat tuotettiin digitaalisella kameralla, eli ns. stillvideokameralla. Kuvaparit voidaan ottaa myös perinteisellä tarkkuuskameralla lasilevyille, mutta silloin ne on digitoitava esimerkiksi skannerilla. Kuvausta tarkkuuskameralla käytettiin tässä tutkimuksessa tarkan mittaustiedon saamiseksi vertailujen tekoa varten; vertailumittaus suoritettiin perinteisellä analyttisellä kartoituskojeella.

DVP valittiin kokeiltavaksi menetelmäksi juuri sen yksinkertaisen ja suhteellisen halvan laitteistovaatimuksen vuoksi. Toisena syynä on TTKK:uun kertyneet myönteiset kokemukset menetelmästä. Lisäksi erilaisten PC-pohjaisten ja digitaalista kameraa käyttävien menetelmien voidaan odottaa valtaavan alaa lähitulevaisuudessa erilaisen kuvallisen materiaalin tuottamisessa. Tällöin myös laitteet ja ohjelmat kehittyvät nopeasti. Tulevaisuus tuonee parannusta kaikkiin tässäkin kokeilussa havaittuihin ongelmiin.

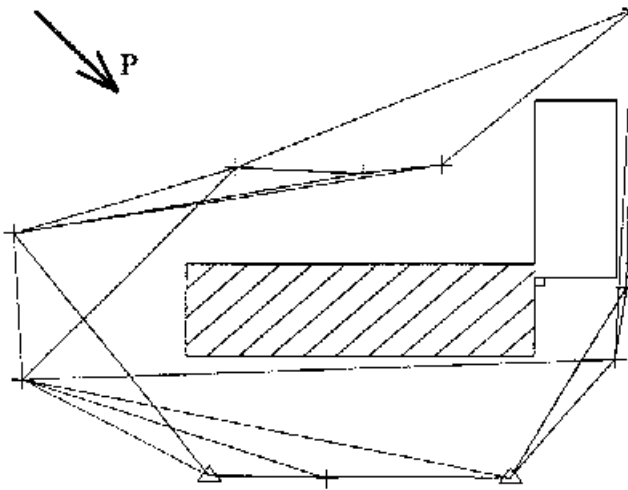
Mittaus tehtiin DVP-työasemalla. Käytetyn laitteiston prosessori oli 486-tyyppiä, kellotaajuus 66 Mhz ja keskusmuistin koko 16 MB. Nykyisin tällaisen perustietokoneen hinta on alle 10 000 mk. Työskentelyä varten tarvitaan ohjelmisto ja näyttölaite, joiden yhteishinta on noin 130 000 mk.

## 4 MITTAUSKOHDE

### 4.1 MITTAUSKOHTEEN YLEISPIIRTEET

Mittauskohteeksi valittiin As. Oy. Mäkitorpantie 40 Helsingin Oulunkylässä. Yhtiö koostuu kahdesta kolmikerroksisesta asuintalosta, jotka sijaitsevat tontilla L-muodossa. Pidemmän rakennuksen pituus on noin 47 metriä, ja lyhyemmän vastaavasti 27 metriä. Talojen korkeus on noin 12 metriä. Kolmen asuinkerroksen lisäksi taloissa on maanpinnan tasossa autotallit, kellarit ja porrashuoneiden sisäänkäynnit. Porrashuoneita on 5 kappaletta.

Asuinkerrosten julkisivumateriaalina on rapattu, höyrykarkaistu kevytbetoni (Siporex). Sisäänkäynnin kerroksen pintamateriaalina on muottia vasten ollut maalattu betonipinta ja autotallien kohdalla puupaneeli. Pidemmän talon pitkän sivun sisäänkäynnit ovat sisäänvedetyt, muutoin ovet ovat julkisivupinnan tasossa. Ikkunat ovat nauhaikkunoita ja parvekkeita on sekä sisäänvedettyjä että ulostyönnettyjä. Kuvassa esitetään asemapiirros mittauskohteesta.



*Kuva 2. Kaavio mittauskohteesta ja vaadittavasta runkoverkosta, mitattava osa viivoitettu (Jenu 1996), Mäkitorpantie 40.*

## 4.2 PERUSTELUT KOHTEEN VALINNALLE

Mittaustarpeen ja -menetelmien kartoituksessa todettiin, että menetelmiä tulisi päästä pilotoimaan, jotta niiden todelliset ongelmat ja edut selviäisivät. Mittauskohteelle kirjattiin seuraavat vaatimukset:

- kohteen saneeraus toteutetaan lähiaikoina
- kohde edustaa hyvin korjattavia taloja
- muutostöissä käytetään sellaisia esivalmisteisiä osia, joiden valmistuksessa ja asennuksessa mittauksessa saatavalla tiedolla on käyttöä
- kohde on riittävän vaikea, jotta mittauksen edut ja ongelmat tulevat esille, vaikeuksiksi arvioitiin
  - maastoesteet; puut ja pensaat, pysäköidyt autot, liikenne
  - katveet, jotka aiheutuvat julkisivupinnan poikkeamisesta tasosta
  - yhtenäiset pinnat ilman selviä kiintopisteitä
  - neliöstä voimakkaasti poikkeava julkisivu, jossa pitkiä linjoja tai saumoja
- vaikeudet eivät saa kuitenkaan merkitä suurta työmäärää, mikä ei ole tarkoituksenmukaista tutkimuksellisessa hankkeessa.

Valitussa kohteessa nähtiin edellä esitettyjen vaatimusten toteutuvan.

## 4.3 SANEERAUKSEN SUUNNITTELU

Kuvaushetkellä taloyhtiö oli pyytänyt ja saanut tarjouksia korjausurakoitsijoilta. Korjaustyön oli suunnitellut Suunnitteluympyrä Oy Helsingistä. Mittauspilottia varten tutkittiin muutostöitä, jotka oli kirjattu 9.1.1995 päivätyihin piirustuksiin. Suunnittelija oli ehdottanut seuraavia muutoksia julkisivuun:

- Rakennuksen Siporex-ulkoseinät lisälämpöeristetään ja verhoetaan tiilipintaisella Rati-elementillä asuinkerroksissa (1. - 3. krs).
- Kaikki asuinhuoneiden ikkunat ja parvekeovet vaihdetaan uusiin ikkunajaan säilyessä ennallaan.
- Kaikkien parvekkeiden kaiteet uusitaan.
- Ulkonevien parvekkeiden lattiat ja vedenpoisto uusitaan sekä etuseinät kunnostetaan ja maalataan. Parvekkeiden pohjoispäähän asennetaan näkö- ja sääsuojaksi savulasiseinä. Yläkerroksen parvekkeet katetaan.
- Sisäänvedettyjen parvekkeiden lattiat kunnostetaan, kevyet ulkoseinät lisälämpöeristetään ja verhoillaan muovipinnoitetulla profiilipellillä.
- Pohjakerroksen ja porrashuoneiden ulkoseinät ja ikkunat maalataan.
- Räystäään vesikouru ja syöksytorvet uusitaan.

Talon savupiippuun ei oltu suunniteltu muutoksia. Katolla mahdollisesti tehtäviä korjauksia ei ole tässä huomioitu.

## 4.4 MITATTAVAT ASIAT

Tutkimuksen aikaisemmissa vaiheissa on kartoitettu suunnittelijoiden ja tuotteiden valmistajien näkemyksiä tarvittavista mittaustiedoista. Seuraavat asiat on nähty tärkeäksi mitata:

- Nurkkapisteet
  - Aukkojen nurkat
  - Parvekkeiden nurkat
  - Seinien nurkat
- Tasomaisuus
  - Suurimmat pistemäiset poikkeamat tasosta
  - Tasojen kierous
- Linjojen suoruus
  - Räystäs- ja sokkelilinjat
  - Ikkunalinjat.

Tästä kohteesta mitattiin seuraavat asiat, joiden katsottiin vastaavan yllä olevan listan vaatimuksiin:

- sisäänkäyntikerroksen maalatut betoniosat
- muiden kerrosten rapatut osat
- ikkuna- ja oviaukot
- parvekkeiden etulevyt
- syöksytorvet ja räystäät
- ikkunoista valoaukkojen nurkat
- ovista ovilevyjen nurkat
- kaiteet ja tikkaat
- puuverhoilut ovien ja ikkunoiden välissä.

Nämä tiedot katsottiin tarpeellisiksi, jotta voidaan luoda riittävän tarkka julkisivumalli saneerauksen suunnittelun lähtötiedoksi.

Aiemmin toteutettujen kohteiden perusteella on pidetty tasomaisuutta tärkeimpänä ominaisuutena. Esivalmisteisia osia käytettäessä poikkeamat tasosta vaikuttavat julkisivun kaikkiin kohtiin työmäärää lisäävästi enemmän kuin esim. yhden aukon mittojen ja sijainnin poikkeamat.



## 5 KOEMITTAUKSEN TOTEUTUS

### 5.1 MITTAUKSEN JÄRJESTELYT

Kuvaus ja mittaus kohteessa tehtiin kuuden henkilön voimin, sillä hanke oli tutkimuksellinen ja vertailun vuoksi tehtävät tarkkuuskamerakuvaukset sitoivat henkilöitä. Todellista mittaustoimeksiantoa ajatellen sopiva työryhmän koko olisi kaksi tai kolme henkilöä kohteen korkeuden ja maaston vaikeuden mukaan.

Työmaalla tarvittiin seuraavia varusteita:

- digitaalikamera: Canon ION RC-560
- teodoliitti Wild T2002 varustettuna etäisyysmittarilla Wild DI2002
- signaalimerkit 100 mm x 100 mm, tarroina
- paalut ja merkit teodoliittia varten
- tikkaat, korkeus noin 5 metriä
- pyörillä varustettu rakennusteline, lavan korkeus 4 metriä
- mittanauha ja laseretäisyysmittari
- (tarkkuuskamera: UMK 1318/100, vertailukuvauksiin).

### 5.2 KUVAUKSET JA MITTAUKSET KOHTEESSA

Takymetrimittaukset ja kuvaukset kohteessa tehtiin 18.4. - 21.4.1995. Seuraavassa taulukossa on esitetty aikataulu eri työvaiheista.

*Taulukko 1. Aikataulu eri työvaiheista*

1. päivä Kellonaika	Työvaiheen kuvaus	Työmäärä
9:20 - 9:40	Rakennustelineen pystyttäminen, 3 henkilöä	1 h
9:40 - 11:15	Signaalimerkkien liimaus, sokkeli ja räystääs, 2 henkilöä, seinän puoliväli, 2 henkilöä, yhteensä 120 merkkiä	5 h 40 min
9:20 - 10:45	Runkomittausta varten tarvittava koordinaatisto laadittiin ja merkittiin, 2 henkilöä	2 h 50 min
10:45 - 11:30	Laskentaa runkoverkkoa varten, 1 henkilö	45 min
10:45 - 15:45	Runkoverkon mittaus takymetrillä, 1 henkilö	5 h
11:30 - 14:00	(Tarkkuuskamerakuvaukset, 20 kuvaa, 4 henkilöä)	(10 h)
14:00 - 16:35	Digitaalikamerakuvaukset, 3 henkilöä	7 h 45 min
16:00 - 16:30	Seinän signaalipisteiden mittaus takymetrillä, 1 henkilö	30 min

*Taulukko 1 jatkuu*

2. päivä Kellonaika	Työvaiheen kuvaus	Työmäärä
9:30 - 14:45	Seinän signaalipisteiden mittaus takymetrillä, 1 henkilö	5 h 15 min
10:00 - 13:15	Digitaalikamerakuvaukset, 2 henkilöä	6 h 30 min
13:15 - 13:30	Telineiden purku, 2 henkilöä	30 min

Työmaalla kului aikaa digitaalikamerakuvauksiin liittyvissä toimenpiteissä noin 36 tuntia. Tarkkuuskameralla tehdyissä kuvauksissa kului 10 tuntia, tämä on merkitty suluilla (). Kuvien digitointi ja kehitys (tarkkuuskamerakuvaus) vaativat lisäksi 2 + 2 työtuntia. Mittausjärjestelyjen suunnittelussa kului noin 4 tuntia.

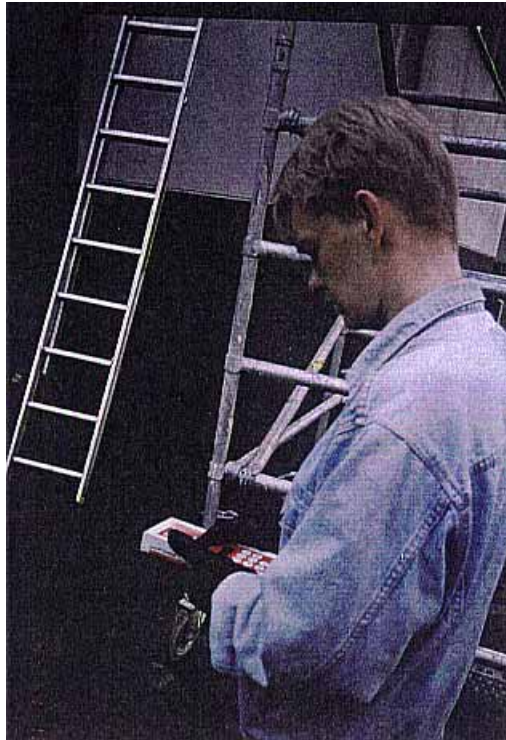
DVP-menetelmää varten tarvittavien kuvien saaminen työasemalle vaati työaikaan noin 41 tuntia.

Kuvauksissa tapahtui virheitä, joita jouduttiin korjaamaan kahtena päivänä 20.- 21.4.1995. Kaikissa kuvissa ei ollut tarvittavaa määrää signaalipisteitä. Virheet johtuivat mm. ulostyönnytyistä parvekkeista ja kasvillisuudesta. Näitä ei ole tässä esitetty.

Havaintona kuvauksista voidaan todeta seuraavia seikkoja:

- Digitaalikameran kuva-ala on ahdas, jolloin voimakkaasti ulostyönnetyt kohdat julkisivussa on huomioitava.
- Digitaalikamera on kätevä; kuvaus voidaan tehdä käsivaralta, kamera voi roikkua kuvaajan kaulassa, jolloin telineillä kiipeily ja telineiden siirtely on nopeaa.
- Tarkkuuskamera vaatii jalustan ja vakaan telineen; tällöin telineen siirtäminen on työlästä ja raskasta, sillä kuvaajan on oltava telineellä suojaamassa kameraa.
- Suora auringonpaiste haittaa sekä digitaali- että tarkkuuskameraa. Pilvipoutainen sää on sopivin kuvaukseen.
- Runkoverkon ja signaalien mittaus teodoliitilla on suurin yksittäinen työvaihe. Tämä on tiettyssä mielessä rasite, sillä tästä vaiheesta olisi enää pieni matka takymetrimittaukseen.
- Signaalimerkkien kiinnittäminen varsinkin korkealle on hankalaa. Yleensä merkkejä ei päästä kiinnittämään asuntojen ikkunoiden tai parvekkeiden kautta, vaan joudutaan käyttämään tikkaita ja telineitä tai liikkumaan katoilla. Tämä hidastaa työtä ja korostaa työsuojelunäkökohtia.

Kuvat 3 - 8 havainnollistavat keskeisiä työvaiheita kohteessa.



*Kuva 3. Mittauspaikkojen ja signaalipaikkojen arviointia ja mittausta laseretäisyysmittarilla.*



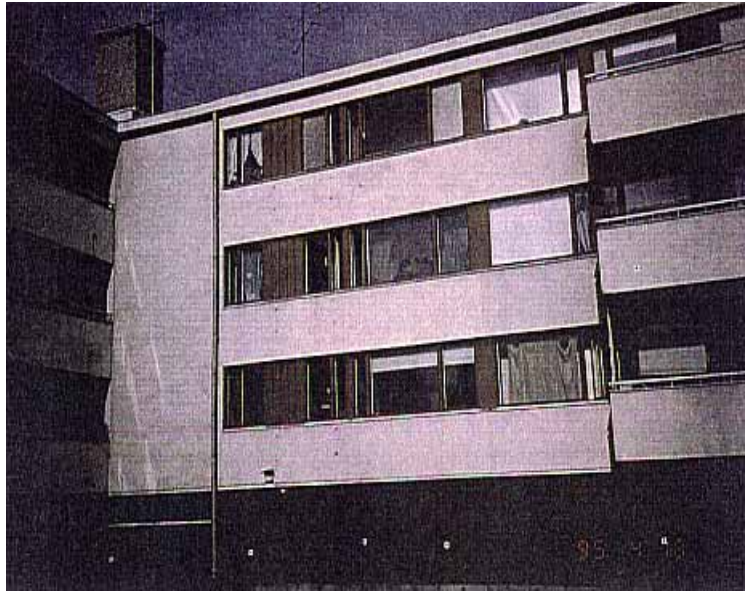
*Kuva 4. Runkoverkon mittausta.*



*Kuva 5. Signaalimerkkien kiinnittämistä seinän keskikorkeudelle.*



*Kuva 6. Signaalimerkkien kiinnittämistä räystäälle.*



*Kuva 7. Osa valmiista pisteistöstä.*



*Kuva 8. Kuvausta digitaalikameralla.*

### 5.3 MITTAUKSET DVP-TYÖASEMALLA

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan pääasiassa DVP-ohjelmistolla tapahtuvaa fotogrammetrista mittauksia. DVP:ssä mitataan digitaalisilta kuvapareilta pisteiden kolmiulotteisia koordinaatteja. Pisteet ovat erilaisten graafisten elementtien pisteitä. Näin saadaan rakennettua julkisivusta kolmiulotteinen malli, joka on helposti siirrettävissä esimerkiksi AutoCad-ohjelmaan.

Kuvat digitoitiin kameraan kuuluvalla digitointikortilla harmaasävykuviksi ja tallennettiin TIFF-formaatissa. Mittauksessa käytetyt 70 kuvaa vaativat levytilaa tietokoneesta n. 28 MB.

DVP-mittauksessa käytetyn laitteiston prosessori oli 486-tyyppiä, kellotaajuus 66 Mhz ja keskusmuistin koko 16 MB. Tällaisen perustietokoneen hinta on alle 10 000 mk. Työskentelyä varten tarvitaan ohjelmisto ja näyttölaite, joiden yhteishinta on noin 130 000 mk.

DVP-menetelmällä mitattiin talon pidemmän siiven pitkät julkisivut sekä päädyt. Mittauksessa arvioitiin käytetyn työaika 21 tuntia mukaanlukien syntyneen mallin muuttaminen DXF-tiedostoksi siirtoa varten (Jenu 1996).

Tässä vaiheessa on kuitenkin muistettava, että DVP-mittauksia voidaan helposti täydentää, jos halutaan tarkentaa mittauksia joltain kohdista. Menetelmässä on tätä varten tuki.

Tarkkuuskameran kuvien mittaus toteutettiin analyyttisellä stereokartoituskojeella Wild BC2 vertailun saamiseksi.

Lisäksi mittauksesta tehdyssä diplomityössä (Jenu 1996) käytettiin TTKK:ssa kehitettyä fotogrammetriseen pistetihennykseen perustuvaa menetelmää.

## 6 TULOKSET JA NIIDEN ARVIOINTI

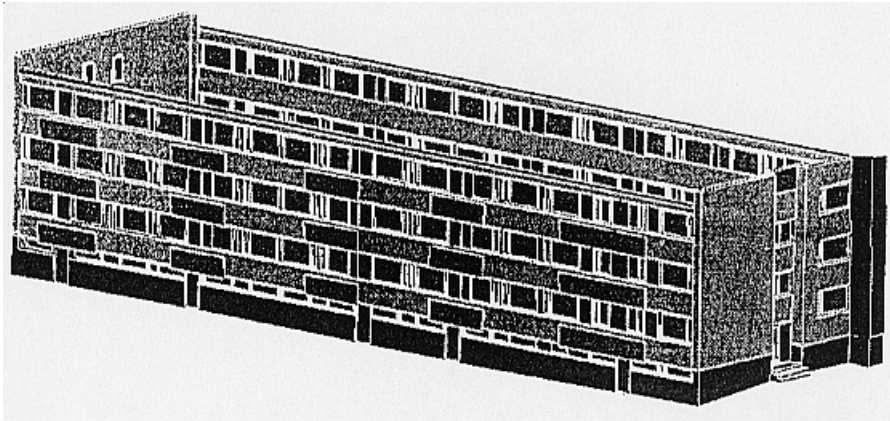
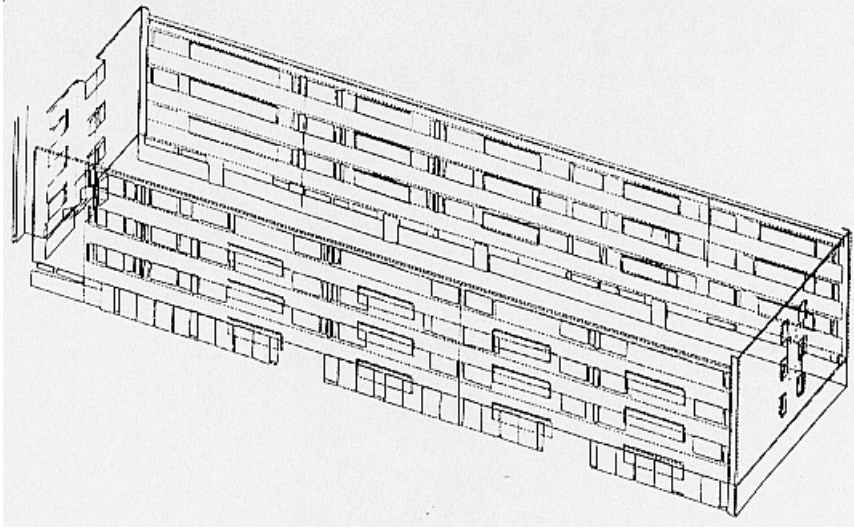
### 6.1 TULOKSEN ARVIOINTIPERUSTEET

Keskeisessä asemassa tulosten arvioinnissa on niiden soveltuminen projektissa mukana olevien yritysten toimintaan. Tärkeitä yksityiskohtia ovat mm. seuraavat:

- Mitattujen pisteiden riittävyys käyttökelpoisen julkisivumallin luomiseen.
- Tiedonsiirron helppous yritysten CAD-järjestelmiin.
- Suunnittelussa havaitut vaikeudet ja helppoudet.
- Kustannusvaikutukset.

### 6.2 JULKISIVUMALLI MITTAUSTULOKSISTA

Kohteen mittaustiedot riittävät julkisivusuunnittelun tarpeisiin. Lisäksi mittausta voidaan helposti täydentää. Seuraavassa kuvassa on rautalankamalli ja pintamalli julkisivusta tulostettuna AutoCAD-ohjelman kautta.



*Kuva 9. DVP-mittauksella tehty julkisivumalli, joka on siirretty AutoCAD-ohjelmaan (Jenu 1996).*



### 6.3 MALLIN SIIRTO SUUNNITTELUJÄRJESTELMIIN

Mittauksesta tehtyä mallia on kokeiltu siirtää mukana olleen yrityksen AutoCad:iin pohjautuvaan julkisivun suunnitteluohjelmaan. Julkisivumallia testattaessa havaittiin seuraavia hankaluuksia:

- Pakattujen tiedostojen avaaminen koettiin hankalaksi (DVG-muodosta DXF-formaattiin).
- Kaikki aukot ja ääriviivat eivät olleet Closed Polyline -tyyppiä. Virheet ovat syntyneet muodostettaessa pisteistä mallia.

Nämä korostavat määrämuotoisen tiedonsiirron tärkeyttä ja ohjeittein selkeyden tarvetta. Paras tilanne on sellainen, jossa mittauksen tekevä henkilö tuntee tarkoin suunnittelussa käytettävän ohjelman. Tähän tuskin kuitenkaan päästään.

### 6.4 TIEDON KÄYTTÖKELPOISUUDEN ARVIOINTI

Koemittauksessa syntyvän julkisivumallin tarkkuus on noin 1:1000, mikä tässä kokeilussa on noin 10 mm julkisivun pinnassa. Tätä voidaan pitää juuri ja juuri riittävänä. Arvoa on mahdollista parantaa mm. seuraavin keinoin:

- Kuvausetäisyyden pienentäminen. Vaihtoehto on kuitenkin epärealistinen, sillä kuvien ja mittaustyön määrä kasvaa tällöin huomattavasti. Tätä ei tämän kohteen valossa voida enää sallia.
- Paremmen kameran käyttäminen. Tässä käytetyn kameran pikselimäärä oli 760 x 552. Vaihdamalla Kodak DCS 200 tai 460 -kameraan saataisiin pikselimäärää kasvatettua arvoon 1524 x 1012. Vaikutus tarkkuuteen olisi myös tässä samassa suhteessa.

Työn alussa asetettua tarkkuutta 1 - 5 mm on arvosteltu; saneerattavassa seinäpinnassa on harvoin näin tarkkoja yksityiskohtia.

Pintojen tasomaisuuden mittausta ei voitu toteuttaa suoraan, sillä seinäpinnalla ei ollut riittävän selkeitä yksityiskohtia. Tämä tieto saadaan kuitenkin määrittelyksi mallista vertaamalla aukkojen ja sokkeli- sekä räystäslinjojen koordinaattien poikkeamia tasosta. Mikäli poikkeamatietojen saaminen on ensiarvoisen tärkeää, on ennen kuvausta kiinnitettävä signaalipisteitä tätä tarkoitusta varten.

Tässä vaiheessa voidaan arvioida julkisivumallin mittatietojen olevan riittävät suunnittelua varten. Tätä ei ole voitu todentaa, sillä suunnittelua ei ole vielä viety loppuun.

Oleellinen osa tiedon käyttökelpoisuuden arviointia on myös se, että määritetään vastuullinen osapuoli mittauksen teettämisestä. Projektin ensimmäisessä vaiheessa (Lanu et al. 1995) esitettiin näkemys, että rakennuttajan tulisi teettää mittaus osana määrälaskentaa. Tämän kokeilun valossa näyttää luonteelta, että julkisivuun esivalmisteisia osia tarjoava valmistaja ja urakoitsija teettävät mittauksen yhdessä. Tällöin syntyy nopeasti oleellinen mittaustieto ilman turhia toimenpiteitä.

## 6.5 KUSTANNUSVAIKUTUSTEN ARVIOINTI

Stillvideon käyttämisestä aiheutuva työmäärä vaikuttaa koekohteen valossa juuri ja juuri siedettävältä syntyvän mallin tuottamiin etuihin verrattuna. Kokonaistyöaikaa kului noin 60 tuntia. Mitattua seinäneliötä kohden työkustannusten voidaan laskea olevan noin 11 mk/m<sup>2</sup>. Telineiden, portaiden ja vastaavien varusteiden vuokra neliötä kohti on arvioitu noin 0,50 mk/m<sup>2</sup>. Tämä arvo voi korkeissa kohteissa kasvaa huomattavasti, jos tarvitaan autonosturia tai vastaavaa.

Mittausmenetelmiä kartoitettaessa (Lanu et al. 1995) arvioitiin suurimman sallittavan mittauskustannuksen olevan noin 15 mk/m<sup>2</sup> tai 2 - 4 prosenttia korjauskustannuksista. Tämä näyttää toteutuvan.

## 7 YHTEENVETO

Mittaukset tehtiin fotogrammetrisellä DVP-menetelmällä, johon tarvittavat kuvaparit tuotettiin digitaalikameralla. Kamera oli Canon ION RC-560, jonka hinta on noin 20 000 mk. Käytetyn mittaustyöaseman prosessori oli 486-tyyppiä, kellotaajuus 66 Mhz ja keskusmuistin koko 16 MB. Tällaisen perustietokoneen hinta on alle 10 000 mk. Tarvittavan ohjelmiston ja näyttölaiteen yhteishinta on noin 130 000 mk. Mitattaviksi asioiksi kirjattiin nurkkapisteeet, tasomaisuus ja linjojen suoruus.

Mittaukset ja kuvaukset kohteessa tehtiin 18.4. - 19.4.1995. Vain pidemmän talon julkisivut mitattiin. Keskeiset työvaiheet olivat signaalimerkkien asennus seinille, runkoverkon merkitseminen ja mittaus takymetrillä, seinillä olevien signaalipisteiden mittaus takymetrillä, kuvaus digitaalikameralla ja kuvaus tarkkuuskameralla vertailua varten. Työaika työmaalla kului noin 41 tuntia. Tähän on laskettu mukaan kuvien digitointi ja kehitys.

Digitaalikameran kuva-ala on ahdas, minkä vuoksi ulostyönneetyistä parvekkeista aiheutui virheitä. Samoin kasvillisuus aiheutti hankaluuksia. Virheiden aiheuttamaa lisäystä työaikaan ei ole huomioitu. Toisaalta kuvaus voidaan tehdä käsivaralta, jolloin kuvaaminen ja telineillä kiipeily on nopeaa. Runkoverkon ja signaalien mittaus on suurin yksittäinen työvaihe. Signaalimerkkien kiinnittäminen korkealle on hankalaa.

Kuvatun neljän julkisivun mittaus vei aikaa 21 tuntia. Mittaustyö edellyttää henkilöä, jolla on hyvä stereonäkökyky. Työskentely laitteistolla on havainnollista, ja kokenut operaattori suorittaa työn nopeasti ja virheettömästi.

Syntyneen julkisivumallin tarkkuus on noin 1:1000, mikä tarkoittaa noin 10 mm julkisivussa. Arvoa on mahdollista parantaa mm. kuvausetäisyyttä pienentämällä tai tarkemmalla kameralla. Toisaalta työn alussa asetettua tarkkuutta 1 - 5 mm on arvosteltu; saneerattavassa seinäpinnassa on harvoin näin tarkkoja yksityiskohtia.

Tiedonsiirrossa AutoCad-ohjelmaan havaittiin hankaluuksia, jotka korostavat vaatimusta, että mittajaan tulisi tuntea rakennusten julkisivun suunnittelua ja erityisesti asiakkaana toimivan valmistavan yrityksen suunnittelujärjestelmiä.

Syntynyt julkisivumalli arvioidaan riittäväksi suunnittelun lähtöaineistoksi. Mallia voi tarkentaa täydentämällä mittauksia työasemalla.

Stillvideon käyttämisestä aiheutuva työmäärä vaikuttaa koekohteen valossa siedettävältä. Kokonaistyöaika kului noin 60 tuntia. Mitattua seinäneliötä kohden työkustannusten voidaan laskea olevan noin 11 mk/m<sup>2</sup>. Telineiden, portaiden ja vastaavien varusteiden vuokra neliötä kohden on arvioitu noin 0,50 mk/m<sup>2</sup>. Tämä arvo voi korkeissa kohteissa kasvaa huomattavasti, jos tarvitaan autonosturia tai vastaavaa.

Tämän kokeilun valossa näyttää edullisimmalta, että julkisivuun esivalmisteisia osia tarjoava valmistaja teettää mittauksen mahdollisesti urakoitsijan kanssa. Tällöin syntyy nopeasti oleellinen mittaustieto ilman turhia toimenpiteitä.

# LÄHDELUETTELO

Jenu, M. 1996. Julkisivumittaus stillvideokameralla. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennustekniikan osasto, Geodesia ja fotogrammetria, 1996/1. 64 s. + liitteitä 9.

Lanu, M., Nippala, E. & Koota, J. 1995. Rakennusmittausten tarve, markkinat ja käytettävyys julkisivukorjauksissa. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 1679. 64 s.

Mikkonen, P. 1994. DVP, Digitaalinen fotogrammetrinen työasema PC-ympäristöön. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennustekniikan osasto, Geodesia ja fotogrammetria, 1994/1. 20 s. + liitteitä 12.

Petrow, Seppo. 1994. Kivipohjaisten julkisivujen korjaustekniikat, Julkisivun mittaukset ja mallinnus. Helsinki. Rakennustuoteteollisuus, RTT, Raportti, Lokakuu 1994. 13 s.