



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



**Rapport**

**R90:1990**

# **Enhetsöverbyggnad**

**Hydrologiska och vägtekniska  
egenskaper**

**William Hogland**

**Thomas Wahlman**

V-HUSETS BIBLIOTEK, LTH



15000

400135495

# **Byggforskningsrådet**



R90:1990

ENHETSÖVERBYGGNAD

Hydrologiska och vägtekniska egenskaper

William Hogland

Thomas Wahlman

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 841198-6 från Statens råd för byggnadsforskning till Lunds tekniska högskola, Teknisk vattenresurslära och Vägbyggnad, Lund.

## REFERAT

Föreliggande forskningsprojekt har utförts i Sverige kring en ny typ av marköverbyggnad, kallad enhetsöverbyggnad, avsedd för infiltration och magasinering av dagvatten. Enhetsöverbyggnaden består av en beläggning av dränerande asfalt utlagd på ett makadambärlager vilket har en bärande och vattenmagasinerande funktion.

Studier har utförts på försöksytor i Lund och i Sundsvall samt som fullskaleförsök i laboratorium. Även 17 äldre ytor med enhetsöverbyggnad har inventerats avseende funktion och skador.

Medföljande föroreningar i nedträngande dagvatten genom överbyggnaden uppvisar en tendens att inte infiltrera ned till undergrunden utan stannar på en nivå strax ovan fiberduken i den öppna överbyggnaden.

Beläggningen av dränerande asfalt blir igensatt pga nedsmutsning från fordon, byggnadsarbeten och halkbekämpning. Rengöringsförsök har påbörjats.

Enhetsöverbyggnaden är främst lämplig på lågtrafikerade ytor men kan även användast på gator med större trafikvolym om man utför överbyggnaden med ett tjockare asfaltlager eller ett bitumenstabiliserat och dränerande bärlager.

De skador som har upptäckts på äldre ytor och försöksytor är huvudsakligen skador som beror på utförandet eller på användande av felaktiga material till avjämning eller makadambärlager.

En ekonomisk jämförelse mellan enhetsöverbyggnad och traditionell överbyggnad med normalt dagvattensystem har utförts. Årskostnaden med enhetsöverbyggnad är ca 14% lägre inberäknat anläggnings-, drift- och underhållskostnader under en 25-årsperiod.

I Byggeforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R90:1990

ISBN 91-540-5264-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

**gotab** Stockholm 1990

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Förord

Summary

Sammanfattning

## 1. INLEDNING OCH SYFTE

- .1 Bakgrund
- .2 Allmänt
- .3 Beskrivning av enhetsöverbyggnad
- .4 Förekomst
- .5 Tänkbara fördelar och nackdelar med enhetsöverbyggnad
- .6 Undersökningens syfte

## 2. LITTERATURSTUDIE ÖVER DIMENSIONERING

- .1 Dimensionering av öppen överbyggnad i USA
- .2 Dimensionering av vattenmagasin
  - .21 Dimensionering av vattenmagasin i USA
    - .211 Minimidjup-metoden
    - .212 Minimiyta-metoden

## 3. METODIK

- .1 Fältstudier
  - .12 Studier av äldre ytor
    - .121 Okulärbesiktning
    - .122 Infiltrationsförsök
    - .123 Kvalitetsprovtagning av dräneringsvatten
    - .124 Provtagning på beläggning och bärlager
  - .2 Studier av testytor
    - .21 Vägtekniska studier av testytor
      - .211 Bärighet och dimensionering
      - .212 Materialstudier
      - .213 Temperaturmätning och tjällyftning
      - .214 Skadekartering
    - .22 Studier av vatten- och föroreningstransport
      - .221 Nederbörd och stoftnedfall
      - .222 Markvattenmätning
      - .223 Vattenstånd i överbyggnaden
      - .224 Avrinning av dräneringsvatten
      - .225 Grundvattenmätning
      - .226 Infiltrometertest
      - .227 Rengöringsförsök och sedimentprovtagning
      - .228 Snötest
      - .229 Analysmetoder
  - .3 Laborrieförsök för studie av föroreningsbelastning
    - .31 Försöksuppläggning
  - .4 Utförande och ekonomi

4. TESTYTA PARKERINGSPLATS IDEON, LUND

- .1 Utformning
- .2 Utförande
- .21 Anläggande av ytor
- .22 Ombyggnad av yta C1 och C2
- .3 Instrumentering
- .4 Kommentarer

5. TESTYTA 2: OLE RÖMERS VÄG, LUND

- .1 Utformning
- .2 Utförande
- .21 Kontroll av material
- .3 Instrumentering
- .4 Kommentarer

6. TESTYTA 3: FINSTA

- .1 Utformning
- .2 Utförande
- .22 Kontroll av material
- .3 Instrumentering
- .4 Kommentarer

7. RESULTAT

- .1 Hydrologiska studier i fält
  - .11 Avrinningsstudier
    - .111 Flödesmätningar
    - .112 Vattenkvalitet och föroreningstransport
      - .1121 Testytor i Lund
      - .1122 Föroreningssituation efter byggnadsskede
      - .1123 Dräneringsvatten från äldre ytor
    - .12 Snösmältning
      - .121 Föroreningssinnehåll i smältvatten
      - .122 Snösmältningsförsök
    - .13 Infiltrationsmätningar
      - .131 Testytor i Lund
      - .132 Fiberdukens genomsläpplighet
      - .133 Äldre ytor
    - .14 Markfuktighet
  - .2 Hydrologiska studier i laboratorium
    - .21 Tillgänglig magasinvolym i testboxar
    - .22 Infiltrationsmätningar
    - .23 Mätning av vattenförorening
      - .231 Förorening i påfört dagvatten
      - .232 Förorening i testboxar
    - .24 Mätning av förorening i undergrund
    - .25 Fiberdukens tryckhållfasthet
  - .3 Dimensionering av vattenmagasin
    - .31 Dimensionering för maximal nederbörd
    - .32 Dimensionering efter speciella avrinnings-situationer
    - .33 Datormodell
  - .4 Bärighetsmätningar .5 Vinterstudier
    - .51 Temperaturmätningar i Lund
    - .52 Temperaturmätningar i Sundsvall
    - .53 Tjällyftning
  - .6 Skadekartering



- .61 Ole Römers väg
- .62 Ideon p-plats
- .63 Sundsvall
- .64 Äldre ytor
- .65 Fiberdukens tryckhållfasthet
  
- .7 Rensningsförsök av dränerande asfaltbetong
- .71 Vanliga rensningsmetoder
- .72 Renspolningsförsök med handutrustning
- .73 Renspolningsförsök på äldre ytor
- .74 Föreningensinnehåll i lösspolat sediment
- .8 Enhetsöverbyggnadens ekonomi
- .81 Enkät med byggentreprenörer och områdesförvaltare
- .811 Enkät till entreprenörer
- .812 Enkät till områdesförvaltare
- .82 Anläggningskostnader
- .821 Materialkostnader
- .822 Bostadsområdet Glasberget
- .823 Parkeringsplats, Mölndal
- .824 Friggavägen, Uddevalla
- .83 Drift- och underhållskostnader
- .84 Kostnadsjämförelser

## 8 SAMMANFATTNING AV RESULTAT

- .1 Allmänt
- .2 Avrinning
- .3 Markfuktighet
- .4 Föroreningar i överbyggnad
- .5 Föroreningar i ytsediment
- .6 Laboratorieförsök
- .7 Infiltrationsmätningar
- .8 Rengöring av beläggning
- .9 Skador på beläggning
- .10 Bärighet
- .11 Byggande och ekonomi
- .12 Dimensionering

## 9 REFERENSER

### BILAGOR

- 1 Förteckning över ytor med enhetsöverbyggnad
- 2:1-3 Föreningensinnehåll i dagvatten som påförts testboxar i laboratorieförsök
- 3 Analyserade föroreningsvariabler
- 4 Resultat från mätning med fallviktsdeflektometer
- 5:1-2 Temperaturmätning, yta E1-E4 och F1, i Sundsvall vintern 1985/86 samt 3-4/5 1986
- 6 Temperaturmätning, yta C1 och D1, inom Ideon Lund 1986/87
- 7 Enkät till byggnadsentreprenörer
- 8 Enkät till områdesförvaltare
- 9 Föreningenskoncentrationer i enhetsöverbyggnad vid laboratorieförsök



## FÖRORD

Föreliggande projekt har utförts i samarbete mellan institutionen för Teknisk Vattenresurslära och avdelningen för vägbyggnad, institutionen för Trafikteknik, Lunds Universitet.

Projektet har finansierats av Statens råd för Byggnadsforskning, Statens Naturvårdsverk, Vägverket, Byggnadsstyrelsen, Riksbyggen Konsult, ABV, SKANSKA, Ballast Syd AB, SBUF, AB Sydsten, Sabema Ballast, Malmö Kommuns gatukontor och fastighetskontor samt Lunds kommuns gatukontor. Till anläggande av testytorna i Sundsvall har Skanska i norra norrland bidragit.

En referensgrupp bestående av följande personer har styrt projektet;

Jan-Åke Bengtsson	Skanska
Boje Bojesson	Sydsten
Bert Eneberg	Skanska
Ray Florén	BFR
Bertil Westerdahl	Ballast Syd, ABV
Bertil Grandinsson	SBUF
Hans Eve Persson	Lunds Gatukontor
Tord Lindahl	Byggentreprenörerna
Olov Gillberg	Byggnadsstyrelsen
Bengt Lundgren	Fastighetskontoret i Malmö
Bertil Jerkfelt	Sabema Material AB
Rolf Larson	Riksbyggen Konsult
Bengt Persson	Malmö Gatukontor
Anders Håkansson	Vägverket
Bengt Hansson	Byggproduktionsteknik, LTH

Ett stort tack riktar vi till finansierarna samt de i referensgruppen ingående personerna. Speciellt vill vi tacka Bengt Hansson som lyckades samordna finansieringen av projektet samt stått som sammankallande till referensgruppsmötena.

William Hogland

Thomas Wahlman

## SUMMARY

The first research project being done in Sweden on a new pavement for surfaced areas called Unit Superstructure is reported in this paper. The Unit Superstructure is a porous pavement useable for infiltration and storing of storm-water run-off. The pavement consists of a wearing course of porous asphalt laid on an open-graded macadam base which functions both as a bearing and waterstoring layer.

The studies have been carried out on newly-built test areas in Lund and Sundsvall combined with full-scale test i laboratory. An inventory at the function and surface distresses of 17 older areas with Unit Superstructure have also been made.

The good qualities of the porous pavement concerning infiltration and attenuation/storing storm-water runoff have been showed proven as well in field studies as in laboratory studies. The pavement decreases the run-off volume and reduces the peakflow sharply in order to the chock outflow of pollutant storm-water to the recipient is or strongly lowered.

Adjacent surfaced areas are also possible to dewater through the porous pavement. The capacity of the pavement to percolate storm-water makes it possible to exclude the traditonal sewage system with street gulleys and drain pipes.

The long-termed effects of an porous pavement have been simulated in laboratory with accelerated experiments. A 30-year period of precipitation has been simulated with irrigation with street run-off over specially built test-boxes. The irrigated storm-water, which passed trough the testboxes of Unit Superstructure, have after infiltration shown almost the quality of drinking-water. The same reduction of pollutants has been observed from analysis on drain-water taken from areas with Unit-Super Structure nearby Gothenburg.

Drain-water from a snow-melting test have shown a reduction of certain pollutants such as SS, TS, Cr, Al, Cu, Zn and Pb after running through the Unit Superstructure.

The pollutants in infiltrated storm-water passing through the pavement show a tendency to stop at a level just over the fabric in the macadam base and not infiltrate in the under-ground.

Nutrients show a tendency to increase in the drain-water after passing through a porous pavement. The same have been observed with the concentration of Chloride.

The effect on pollutant situation and storm-water runoff must be further investigated. The environmental consequences on large-scale use of porous pavements must primarily be analysed.

The open textured wearing-course gets heavily clogged due to passage of vehicles, construction works and winter maintenance. Early trials in clensing clogged wearing courses with high-pressure water have shown that the draining capacity can be regained even after heavy clogging. The use of traditional street cleaners decreases the draining capacity. The infiltra-



tion capacity of a new laid porous macadam is normally in the range between 500-700 mm/minute and decreases to apprixomately 60 mm/minute after 2-3 years. The oldest area with Unit Superstructure in Sweden has after 5 years an average infiltration capacity of 65 mm/minute. A value of 1 mm/minute is enough for normal infiltration but is recommended to be at least 50 mm/minute to ensure the draining function of the porous pavement. This can be reached through regulary cleansing with high-pressure water.

Some models for calculating the run-off from porous pavements have been studied. A new model suitable for computer processing has been developed and is presented in the report.

The bearing capacity of the Unit Superstructure has been studied via surface deflection measurements with Falling Weight Deflectometer and with static loading, Argus Eye (an optical Benkelman Beam), on different test areas with different thicknesses of the macadam base (250-700 mm). For low-traffic areas, such as parking-lots, pedestrian and bicycle paths and streets in dwelling areas, the construction have the same and even better bearing capacity than a traditional flexible pavement. The bearing capacity is lowered if a layer of fine macadam is used between the asphalt and macadambase for adjustment and if this finer macadam is narrow graded. It is highly recommended to use a thicker asphalt layer or an open asphalt basecourse to increase the bearing capacity of the pavement if used on high or medium traffic roads.

The surface distresses observed on older areas with Unit Superstructure have all been caused during the construction period or by the use of incorrect materials for macadam base and adjustment layer. The wearing course must be protected against clogging during the construction period if used as a temporary transport road.

The Unit Superstructure seems to have the same response on freezing and thawing as a traditional flexible pavement. The test areas i Lund, in the southern part of Sweden, showed smaller frost heave for the porous pavement than the adjacent flexible pavement. No damaged caused by freezing of the porous wearing course or base have been observed.

An economical comparison between the two ways of constructing pavements, Unit Superstructure and flexible pavement with sewage system, has been carried out. The annual cost for a new built dwelling area is approximately 14% lower when Unit Superstructure is used instead of traditional pavement, calculated over a 20-year period including resurfacing, maintenance and construction.

The experiences from contractors who have constructed pavements with Unit Superstructure have been gathered by interviews. It is obvious that the porous pavement demands quite different construction technique, for ensuring good quality, than normal flexible pavements. It is also shown that the quality control of material, such as asphalt and macadam, is much more important. With the correct material and proper technique the construction time is lowered.

Experiences from area administrators of dwelling areas with Unit Superstructure shows that the construction demands fewer deicing measurements than flexible pavements with dense asphalt wearing courses.

## SAMMANFATTNING

I denna rapport redovisas det första forskningsprojekt som utförts i Sverige kring en ny typ av marköverbyggnad, kallad enhetsöverbyggnad, avsedd för infiltration och magasinering av dagvatten. Enhetsöverbyggnaden består av en beläggning av dränerande asfalt utlagd på ett makadambärlager vilket har en bärande och vattenmagasinerande funktion.

Studierna har utförts på försöksytor i Lund och i Sundsvall samt som fullskaleförsök i laboratorium. Även 17 äldre ytor med enhetsöverbyggnad har inventerats avseende funktion och skador.

Enhetsöverbyggnadens positiva egenskaper vad gäller infiltration och fördröjning/magasinerering av dagvatten har kunnat påvisas såväl i fält som i laboratorium. Överbyggnaden minskar totalt avrinningen av dagvatten samt reducerar markant toppflödet i avrinningen så att chockbelastningen av förorenat dagvatten till recipienten uteblir eller minskas kraftigt.

Även intilliggande hårdgjorda ytor kan avvattnas genom överbyggnaden. Överbyggnadens förmåga att perkolera nederbörd innebär att det vanliga dagvattensystemet med dagvattenbrunnar och ledningar för ytavvattning kan minskas eller helt ersättas.

I laboratorium har accelerade försök utförts för att studera långtidseffekten med enhetsöverbyggnad. 30 års regn har simulerats genom bevattning med dagvatten taget från en gata över speciellt byggda testboxar. I det vatten som passerat överbyggnaden har en sådan reduktion av vissa föroreningar kunnat påvisas att det utgående dagvattnet uppvisar dricksvattenkvalitet. Denna reduktion uppvisar även prover tagna från äldre ytor i Göteborgsområdet.

I smältvatten från snö har även en reduktion kunnat påvisas för vissa föroreningsvariabler (susp, Ts, Cr, Al, Cu, Zn, Pb) efter passage genom enhetsöverbyggnad.

Medföljande föroreningar i nedträngande dagvatten genom överbyggnaden uppvisar en tendens att inte infiltrera ned till undergrunden utan stannar på en nivå strax ovan fiberduken i den öppna överbyggnaden.

Kväveföreningar uppvisar en tendens att öka i dagvatten vid passage genom överbyggnaden. Detsamma gäller koncentrationen av klorid.

Enhetsöverbyggnadens effekt på föroreningsspridning och avrinning måste undersökas vidare. Främst bör miljökonsekvenser vid en storskalig användning av överbyggnaden utredas.

Beläggningen av dränerande asfalt blir igensatt p g a nedsmutsning från fordon, byggnadsarbeten och halkbekämpning. Försök för att rengöra igensatt dränerande asfalt med högt trycksspolning har påvisat att beläggningen kan rensas så att dess dränerande förmåga återställs. Rensning med traditionella sopmaskiner försämrar enbart beläggningens genomsläpplighet. En nylagd beläggning har en genomsläpplighet på cirka 500-700 mm/minut för att efter några år minska till cirka 60

mm/minut. Den äldsta ytan i Sverige med enhetsöverbyggnad har en medelinfiltrationskapacitet på cirka 65 mm/minut. Infiltrationskapaciteten 1 mm/minut är tillräcklig vid normal nederbörd men bör ligga på cirka 50 mm/minut för att erhålla tillräcklig säkerhet i den dränerande funktionen. Detta kan uppnås genom regelbunden rensning av beläggningsen med högtrycksspolning. Utrustningar lämplig för detta ändamål har prövats.

Några olika modeller för att beräkna avrinning från enhetsöverbyggnad har prövats. En modell lämplig för datorbearbetning presenteras i rapporten.

Den bärande förmågan hos enhetsöverbyggnad har studerats genom mätning av ytdeflektion vid fallviktsmätning och mätning med statisk belastning, Argus Öga. Under förutsättning att det inte finns ett instabilt lager av finmakadam som avjämning mellan beläggningsen och makadambärlagret är den lastfördelning förmågan hos överbyggnaden lika stor eller större än en vanlig grusbitumenöverbyggnad.

Enhetsöverbyggnaden är främst lämplig på lågtrafikerade ytor men kan även användas på gator med större trafikvolym om man utför överbyggnaden med ett tjockare asfaltlager eller ett bitumenstabiliserat och dränerande bärlager.

De skador som har upptäckts på äldre ytor och försöksytor är huvudsakligen skador som beror på utförandet eller på användande av felaktiga material till avjämning eller makadambärlager. Beläggningsen måste skyddas om den skall användas för byggtransporter för att förhindra kraftig igensättning.

Enhetsöverbyggnaden uppvisar motsvarande tjälpåverkan som en vanlig överbyggnad. På försöksytan i Lund gav enhetsöverbyggnad mindre tjälllyftning än referensytan med grusbitumenöverbyggnad. Ingen sönderfrysning av beläggningsen eller bärlagret har kunnat observeras.

En ekonomisk jämförelse mellan enhetsöverbyggnad och traditionell överbyggnad med normalt dagvattensystem har utförts. Årskostnaden med enhetsöverbyggnad är cirka 14% lägre inberäknat anläggnings-, drift- och underhållskostnader under en 25-års period.

Erfarenheter från entreprenörer som anlagt enhetsöverbyggnad har samlats in. Dessa påvisar dels att överbyggnaden kräver annorlunda utförandemetoder än vanliga marköverbyggnader samt att kontrollen av materialsammansättningen är viktig för rätt utförande. Rätt utfört med korrekta material förkortas anläggningstiden.

Även erfarenheter från områdesförvaltare av ytor med enhetsöverbyggnad har samlats in. Med enhetsöverbyggnad har antalet halkbekämpningstillfällen kunnat minskas avsevärt.



# 1 INLEDNING

## 1.1 BAKGRUND

Under senare år har man inom urbana områden systematiskt börjat sträva efter att utnyttja markens förmåga att omhänderta och magasinera vatten. En rad typer av anläggningar baserade på markens infiltration eller perkolationsegenskaper har utvecklats. Den samlade benämningen av anordningar för kontrollerad infiltration eller perkolation av dagvatten är Lokalt Omhändertagande av Dagvatten (LOD). Stora hydrologiska fördelar för den lokala vattenbalansen kan vinnas genom användandet av LOD genom att vattenbalansen i urbana områden kan förbli opåverkad eller återställas. Ett exempel på detta är enhetsöverbyggnad som presenteras i följande avsnitt.

## 1.2 ALLMÄNT

Användandet av en öppen dränerande överbyggnad, s k enhetsöverbyggnad, är ett nytt sätt att föra ned vatten från asfaltytan via väggroppen ned till underliggande mark. Enhetsöverbyggnad är en kombination av öppen dränerande asfaltbeläggning och bärlager av makadam som kraftigt minskar behovet av dyrbara ledningar och brunnar. I enhetsöverbyggnaden föres dagvattnet från asfaltytan via väggroppen till underliggande mark. Dagvattensystemet byts ut mot ett enkelt dräneringsystem som tar emot regn- och ytvatten och fördelar det antingen genom infiltration till underliggande jordlager eller fördröjer avrinningen till ledningssystemet. Genom att återföra dagvattnet till undergrunden, behålls vattenbalansen i marken och risken för framtida sättningar minskar. Dagvattenvolymen och toppflödet minskar, vilket i kombinerade ledningssystem minskar såväl bräddfrensens och bräddmängd. Konstruktionen minskar dag- och bräddvattenbelastningen på sjöar och vattendrag.

En annan fördel med enhetsöverbyggnad är att den kan byggas på mycket större ytor än vanliga infiltrationsmagasin.

Den öppna överbyggnaden är attraktiv ur såväl hydrologisk som ekonomisk synvinkel, vilket gör den lämplig att använda i större omfattning. Innan detta sker bör de totala hydrologiska effekterna på lång sikt undersökas ingående.

De omfattande hydrologiska och vägtekniska studierna kring enhetsöverbyggnad som delvis redovisas i denna rapport har initierats av Lunds Tekniska Högskola (LTH). Föreliggande projekt har omfattat 3 delprojekt. Statens råd för byggnadsforskning (BFR), SBUF, Vägverket, Skanska, Riksbyggen, Malmö kommun, AB Sydsten, ABV Ballast och Sabema finansierar tillsammans huvudprojektet.

De tre delprojekten är

1. Hydrologiska studier kring enhetsöverbyggnad
2. Dimensionering av enhetsöverbyggnad och dränerande toppbeläggning
3. Produktionsteknisk och ekonomisk studie av enhetsöverbyggnad

### 1.3 BESKRIVNING AV ENHETSÖVERBYGGNAD

Enhetsöverbyggnaden är lämplig för lågtrafikerade ytor, parkeringsplatser, gång- och cykelbanor, lokalgator mm, och är framtagen av Rolf Larsson, Riksbyggen Konsult i Göteborg.

Den öppna överbyggnaden består av ett kombinerat bär- och förstärkningslager av makadam samt slitlager av dränerande asfaltbetong varigenom nederbörd och ytvatten kan infiltrera till underliggande jordlager. En fiberduk är vid behov förlagd i botten på konstruktionen för att förhindra att finare partiklar tränger upp. Den dränerande asfaltbetongen medger att stora vattenvolymer kan infiltrera innan avrinning sker på ytan. I figur 1:1 visas utformningen av en öppen överbyggnad och som jämförelse en traditionell tät grusbitumen överbyggnad som måste ytavvattnas med brunnar eller öppna diken. Fördelen med enhetsöverbyggnaden framgår av bilden i figur 1:2. Under snösmältningen rinner smältvattnet ner genom den dränerande beläggningen och förhindrar pölbildning.

Enligt rekommendationer från Riksbyggen ska grovmakadamen till bärlagret väljas så att stenmaterialet fördelar sig inom en bred fraktion, t ex 18-80 mm, jämnt fördelat över fraktionsgränserna. Se figur 1:3. Stenstorleken skall inte överstiga en tredjedel av bärlagertjockleken.

I makadambärlagret kan en dräneringsledning läggas som träder i funktion när markens infiltrationskapacitet överskrids och vattenståndet i bärlagret stiger. Makadambärlagret fungerar då främst som utjämningsmagasin, vilket medför att avrinningen fördröjs. Dräneringsledningen är av storleken 100 - 150 mm och kan kopplas till det traditionella dagvattenssystemet eller förlängas och ledas ut i angränsande markytor.

Anläggningskostnaderna inom urbana områden kan reduceras betydligt när ytorna utföres med enhetsöverbyggnad beroende på att avvattningen förenklas. Ett omfattande framtida användande av denna typ i urbana områden skulle kunna ge ett ökat grundvattentillskott samt minska risker för översvämning och förorenings spridning i tätorter.

Vidare information om enhetsöverbyggnaden finns bl a i Larsson 1982, Hogland, Niemczynowicz och Wahlman 1984.

#### 1.4 FÖREKOMST

De första ytorna som anlades med enhetsöverbyggnad utfördes i början på 1980-talet, varav ett mindre antal parkeringsplatser och bostadsområden finns i Göteborg. Bland dessa kan nämnas en parkeringsplats i Nödinge (se Niemczynowicz och Dahlblom 1983) och cirka 3000 m<sup>2</sup> gång- och körytor inom bostadsområdet Glasberget i Mölndal (se Niemczynowicz och Hogland 1984). Numera finns också testytor intill Tekniska Högskolan i Lund. I bilaga 1 finns en förteckning över ytor med enhetsöverbyggnad anlagda åren 1981-1986.

#### 1.5 TÄNKBARA FÖRDELAR OCH NACKDELAR MED ENHETSÖVERBYGGNAD

Vid användande av öppen överbyggnad i större omfattning förbättras vattenkvaliteten i recipienten. Mängden dagvattenutsläpp till vattendragen minskar och likaså minskar bräddvattenutsläppen. Både dagvatten- och bräddvattenutsläpp kan vara mycket kännsbara för recipienten och kan begränsa deras användning för t ex rekreation eller som källa för dricks- och bevattningsvatten.

Vid användande av enhetsöverbyggnad infiltreras dagvattnet tillsammans med dess föroreningar ner i konstruktionen i stället för att avrinning sker till traditionella dagvattenledningar. Storskalig användning av tekniken skulle dock lokalt kunna ge problem av miljömässig karaktär. Långtidseffekter på grundvattenkvaliteten och konstruktionens infiltrationsegenskaper är hittills dåligt kända.

Vatten- och föroreningstransporten genom konstruktionen och spridningen av dessa till omgivande mark bör därför studeras vidare. Långtidseffekter på grundvattenbildning och grundvattnets kvalitet är av största intresse.

De erfarenheter av den öppna överbyggnad som redan finns är mycket positiva. Bland de fördelar som enhetsöverbyggnad kan medföra följande nämns:

- \* Kostnader för reparation av sättningsskador på byggnader minskar.
- \* Kostnader för byggande av avvattningsystem och dagvattenledningar i kommunen minskar och anläggandet av sådana kan eller delvis upphöra.
- \* Dagvatten från anslutande ytor (tak, etc) kan anslutas till överbyggnaden
- \* Dagvattenutsläppen minskar.
- \* Bräddvolymerna från kombinerade ledningssystem kan minskas.
- \* Minskade dagvatten mängder till det kombinerade ledningsnätet innebär minskade reningskostnader och minskade risker för störningar i reningsprocessen.

- \* Vattenbalansen bibehålles
- \* Risken för tjälskador och sättningar minskar
- \* Trafikbullret blir lägre
- \* Risken för vattenplaning minskar
- \* Mindre vattenpölsbildning
- \* Mindre halkrisk
- \* Gynnsam påverkan på vegetationen i anläggningarnas omgivning
- \* Synbarheten av trafikmarkeringar förbättras
- \* Förenklat och snabbare byggande
- \* Användbart i ombyggnadssammanhang
- \* Minskad vinterväghållning

För den öppna överbyggnaden kan även följande nackdelar observerats:

- \* Överbyggnaden är något dyrare än grus-bitumen överbyggnad
- \* Känslig för skador och nedsmutsning under byggskedet
- \* Återställning efter söndergrävning för t ex ledningar är svårare
- \* Delvis andra driftåtgärder än vanliga täta asfaltytor särskilt i fråga om vinterväghållning
- \* Igensättning förekommer och därmed försämrad infiltration
- \* Metoder för rengöring av igensatt beläggning saknas
- \* Risk för förorening av grundvatten och vattentäkter
- \* Ökad risk för miljöskador i samband med trafikolyckor och okontrollerade utsläpp



## 1.6           UNDERSÖKNINGENS SYFTE

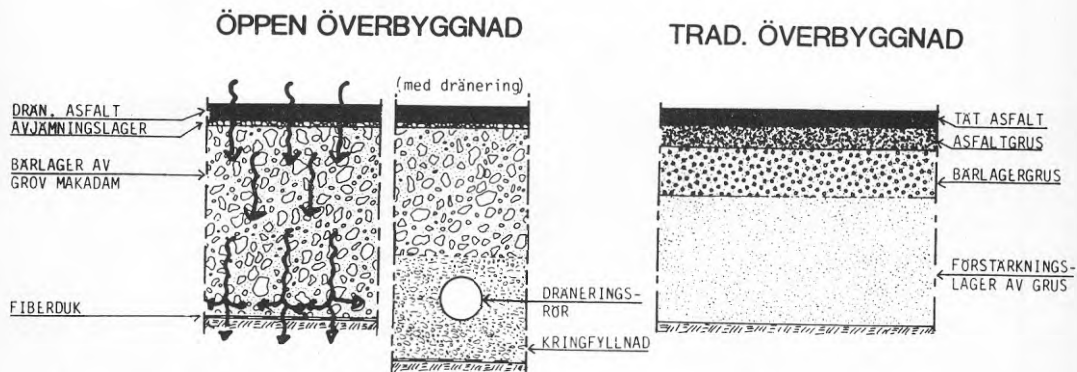
Denna undersökning har utförts för att studera om en öppen överbyggnad av typen enhetsöverbyggnad är användbar till syftet att infiltrera dagvatten och /eller fördröja dagvattenavrinning utan negativa följder avseende

- nedbrytning av beläggning och överbyggnad
- anläggnings-, drift- och underhållskostnader
- förorening av vatten

Det hydrologiska projektet syftar till att studera enhetsöverbyggnadens funktion och dess hydrologiska egenskaper under olika användningsförhållanden. Speciellt intresse riktas mot konstruktionens kvantitativa och kvalitativa påverkan på vattenbalansen. Projektet skall ge underlag för upprättande av dimensioneringsanvisningar och rekommendationer för anläggande av enhetsöverbyggnad med tonvikt på dess hydrologiska egenskaper.

Vidare skall konstruktionens utvecklingsmöjligheter vad gäller vattentransport och föroreningsreducerande förmåga undersökas. Speciella laborativa försök skall genomföras för att simulera hydrologiska långtidseffekter och klargöra föroreningsriskerna med anläggningen.

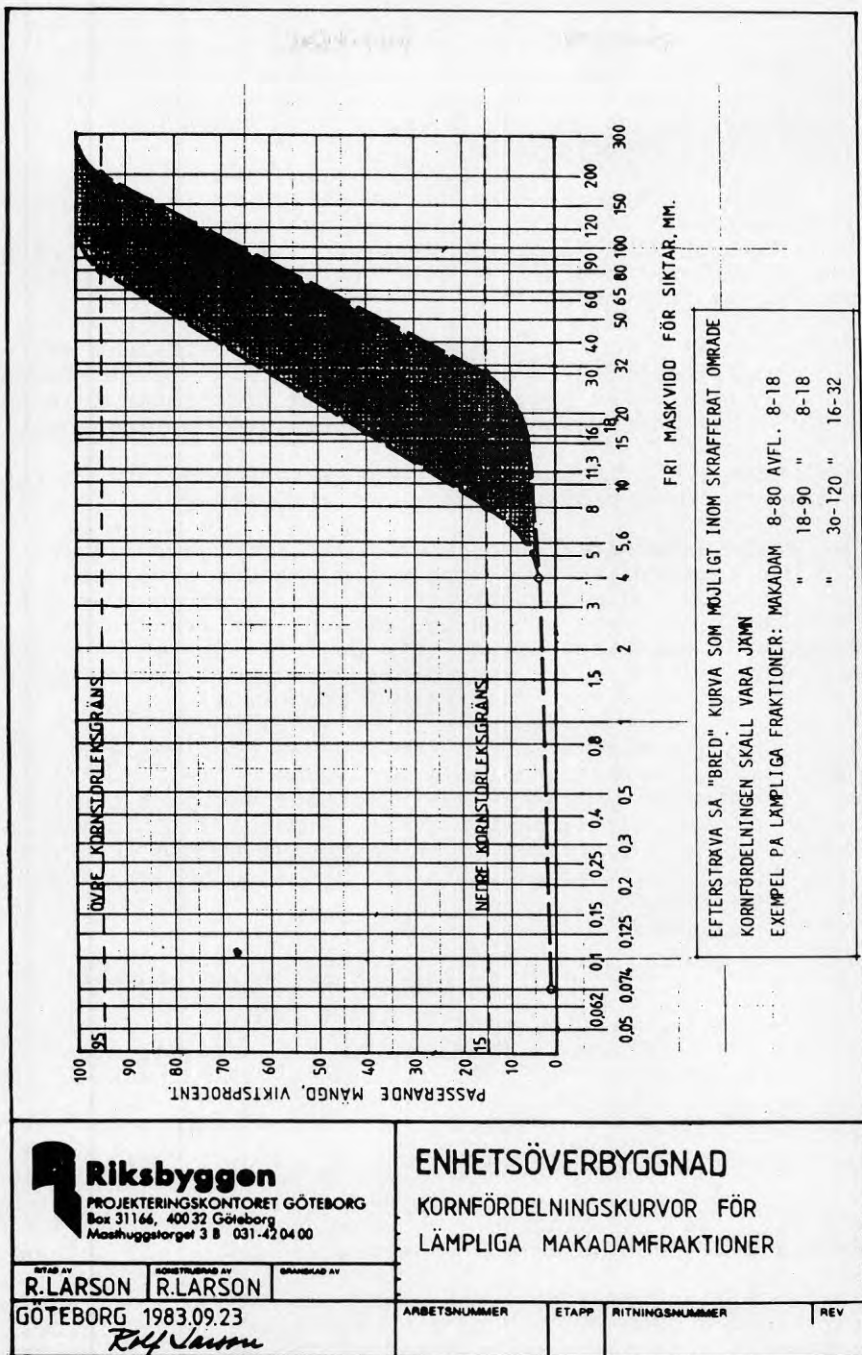
Den vägtekniska studien syftar till att ta fram underlag för dimensioneringsanvisningar för enhetsöverbyggnad samt anvisningar för utförande av konstruktionen. Eventuella ekonomiska fördelar med att använda enhetsöverbyggnad gentemot traditionellt byggnadssätt skall studeras.



**Figur 1:1** Utformning av öppen överbyggnad av typen enhetsöverbyggnad samt traditionell grus-bitumenöverbyggnad.



**Figur 1:2** Skillnad i ytavvattning under snösmältning mellan en yta med tät asfalt (till vänster i bilden) och en yta med enhetsöverbyggnad (till höger). Parkeringsplats intill Åby travbana i Mölndal.



Figur 1:3

Kornfördelningskurva till bärlagermakadam för enhetsöverbyggnad enligt Riksbyggen (Larsson, 1981)

## 2 LITTERATURSTUDIE ÖVER DIMENSIONERING

### 2.1 DIMENSIONERING AV ÖPPEN ÖVERBYGGNAD I USA

I delar av USA har en typ av öppen överbyggnad använts, s k porous pavement, som har liknande utseende och funktion som enhetsöverbyggnad. Nedan beskrives uppbyggnaden av den öppna överbyggnaden och hur den dimensioneras med hänsyn till undergrund och trafikbelastning.

Den öppna överbyggnaden består av 65-100 mm ( $2\frac{1}{2}$ -4") dränerande asfaltbetong, 50 mm (2") avjämning av finmakadam, bärlager av grov makadam samt fiberduk. Se figur 2:1. Tjockleken på bärlagret varierar med hänsyn till trafikbelastning och till behovet av vattenmagasin.

Stenmaterialet till bärlagret anges som grovmakadam med minsta stenstorleken cirka 35 mm ( $1\frac{1}{2}$ ") och största stenstorleken 65 mm ( $2\frac{1}{2}$ "). På detta lägges finmakadam i fraktionen 8-16 mm ( $3/8$ "- $5/8$ "") som avjämning och underlag till beläggningsen.

Bärlagret skall läggas på en torr terrass och inte packas samt hållas ren från nedsmutsning under utförandet.

Den dränerande asfaltbetongen läggs i ett tjockt lager, cirka 2.5 ggr tjockare än motsvarande för enhetsöverbyggnad. Detta ger ett större bärighetstillskott till överbyggnaden och förbättrar förmågan att ta upp påkänningar från trafiken. Den dränerande asfaltbetong som används i USA har en sammansättning som skiljer sig i viss mån från svenska typer. Hur detta inverkar på konstruktionen har ej studerats.

Överbyggnaden dimensioneras för att användas på lågtrafikerade ytor. Trafiken indelas i tre klasser, 1-3, enligt tabell 2.1. I tabellen ges också trafikmängden uttryckt i det ekvivalenta antalet standardaxlar (EAL). I detta fall används 8.2-tons axellast. Begreppet är en omräkning av den aktuella trafiken till att enbart motsvara passagen av ett visst antal 8.2-tons axlar.

**Tabell 2.1** Indelning av trafikklass enligt Asphalt Institute 1983

Klass	Trafikmängd (fordon/dag)	Ekvivalent fordonmängd
1	0-100	( $EAL_{8.2} < 5$ )
2	100-1000	( $6 < EAL_{8.2} < 20$ )
3	1000-3000	( $21 < EAL_{8.2} < 75$ )

För att bära trafiklasten dimensioneras bärlagret enligt tabell 2.2. Bärigheten hos undergrunden anges med CBR-värde. Ett lågt värde, mindre än 5, motsvarar t ex blöt moränlera. Värdet mellan 10-50 motsvarar sand och värdet över 70 motsvarar makadam. För undergrund med CBR-värdet under 5 anges att man skall utföra ett extra makadamlager så att bärigheten hos undergrunden överstiger 6, dvs torrare förhållanden. Detta makadamlager blir då mellan 100-250 mm tjockt beroende på

undergrundens ursprungliga CBR-värde. I några referenser anges att man för öppna överbyggnader alltid skall räkna med CBR-värdet 2 för undergrunden eftersom man kan förmoda att denna är eller blir blöt under en sådan konstruktion.

**Tabell 2.2** Tjocklek på bärlager av grovmakadam, mm

CBR-värde Undergrund	Trafikklass (tab 2.1)		
	1	2	3
Över 15	130	150	180
10-15	180	200	230
6-9	230	280	300
<5	/1	/1	/1

/1 Förbättra undergrunden till CBR 6

## 2.2 DIMENSIONERING AV VATTENMAGASIN

De genomsläppliga beläggningstyperna är speciellt intressanta beroende på att de reducerar dagvattenavrinningen till tätorternas ledningssystem. Det är således konstruktionens förmåga att reducera vattenvolymen som är intressant men dessutom reduceringen av toppflödesavrinningen genom utjämning i konstruktionen. Beläggningens porositet möjliggör att vatten kan magasineras och att avrinningen fördröjs.

Möjligheterna att magasinera vatten i konstruktionen är lika med andelen hålrum multiplicerat med beläggningens tjocklek plus infiltrationskapaciteten under och omkring konstruktionen. En konstruktion bestående av en 5 cm dränerande asfalt med en hålrumsvolym på 20 % kan således magasinera en vattenvolym motsvarande 10 mm nederbörd. I figur 2:2 redovisas beläggningarnas möjlighet att magasinera vatten beroende på deras tillgängliga hålrumsvolym.

I USA har framtagits en regel för dimensionering av dränerande asfalt, med avseende på magasinering och fördröjning av regnvatten, om ingen genomsläpplig överbyggnad används under asfaltytan, se WRA, 1984. Det maximala djupet på asfaltbeläggningen beräknas enligt följande kriterie:

$$d_{\max} = f \cdot T_s / V_r$$

$d_{\max}$  = maximalt tillåtet djup på den dränerande asfaltytan

$f$  = infiltrationshastighet under asfaltsytan

$T_s$  = maximalt tillåten lagringstid av regnvatten i asfaltens hålrumsvolym (= 3 dygn)

$V_r$  = andel hålrumsvolym i asfaltytan

Används den öppna beläggningen ovanpå en genomsläpplig överbyggnad, som i fallet enhetsöverbyggnad, ökar magasineringsmöjligheterna och därmed också reduktionen av den avrinnande volymen och flödestoppen. Utgör konstruktionen en enhetsöverbyggnad bestående av ett makadamlager på 50 cm med hålrumsvolym



halten 40%, belagd med 5 cm dränerande asfalt kan den teoretiskt magasinera en nederbörd motsvarande  $10 + 200 = 210$  mm vilket i sin tur motsvarar ett större skyfall. Förses dessutom konstruktionen med en dräneringsledning eller förläggs till områden med kraftigt vattengenomsläppliga jordarter blir dess vattenreducerande förmåga ännu större.

Ökad reduktion av avrinningsvolym och minskad avrinningshastighet skulle kunna uppnås om dräneringsröret lades högre i konstruktionen. I Frankrike, Tyskland och i USA försänker man vanligen dräneringsröret ner under terrassen i anläggningar av samma typ som enhetsöverbyggnad, se t ex Raimbault, 1985. Se även figur 2:3-4. Orsaken är att man vill undvika frysning i dräneringsröret.

Murphy et al, 1981, fann att upp till 83 % av toppflödet kan reduceras genom att låta dagvattnet passera en öppen överbyggnad.

I USA anser man att endast jordar med infiltrationskapaciteter

överstigande 7 mm/timme som är användbara för infiltration (EPA 20460, 1980) dvs en genomsläpplighet som motsvarar den för sandiga/grusiga moräner. Utrustas anläggningarna med en dräneringsledning anses det att jordar med infiltrationskapaciteter ned till 4 mm/timme kan användas. Några begränsningar av denna art finns ej beskrivna i svensk litteratur.

Konstruktionens möjligheter att reducera vattenavrinningen är av stor vikt i samband med dess användning som utjämnings- eller perkolationsmagasin för vatten från andra upptagningsområden än själva konstruktionens egen yta.

Det finns ett antal olika dimensioneringsprinciper för enhetsöverbyggnad. I USA har dimensioneringsregler framtagits direkt för en konstruktion som i mycket påminner om en enhetsöverbyggnad medan man i Sverige kan använda uppställda regler för perkolationsmagasin. Nedan följer en beskrivning av amerikanska dimensionering. I kapitel 7.3 beskrives en möjlig svensk dimensioneringsregel.

## 2.21 Dimensionering av magasin i USA

Det finns två metoder för dimensionering av vattenmagasinet för öppna överbyggnader i USA. Den första bygger på att bestämma en minsta höjd på makadambärlagret givet av upptagningsytan den s k minimidjup-metoden. Den andra bygger på beräkning av minsta ytan av en öppen asfalt som ger det erforderade djupet på makadamlagret den s k minimiyta-metoden. Den förstnämnda används mest. Metoderna finns beskrivna i WRA, 1984.

### 2.211 Minimidjup-metoden

Följande beräkningssteg används i metoden;

1. Utifrån det valda dimensionerande regnet (P) beräknas ökningen av avrinningen från de bidragande ytorna (Qc).



2. Tjockleken på makadamlagret ( $d_p$ ) beräknas genom;

$$d_p = Q_c \cdot R + P - f \cdot T / V_r$$

där  $R = A_c / A_p$

3. Beräkna sedan maximalt tillåten tjocklek ( $d_{max}$ ) på makadamlagret genom;

$$d_{max} = f \cdot T_s / V_r$$

villkor:  $d_p < d_{max}$  och att makadamlagret alltid befinner sig minst 60 cm ovanför den högsta årstidsbundna grundvattenytan

### 2.212 Minimiyta-metoden

Följande beräkningssteg används i metoden;

1. Utifrån det valda dimensionerande regnet ( $P$ ) beräknas avrinningen från de bidragande ytorna ( $Q_c$ ). Hänsyn tas till den avrinningsökning som ingreppet i landskapet innebär.

2. Det maximalt tillåtna djupet ( $d_{max}$ ) av makadam lagret beräknas genom;

$$d_{max} = f \cdot T_s / V_r$$

3. Välj ett dimensioneringsdjup på makadamlagret mindre eller lika med  $d_{max}$  och som är minst 60 cm ovanför högsta årtidsbundna grundvattennivån.

4. Minimal erforderlig yta av genomsläpplig överbyggnad ( $A_p$ ) blir;

$$A_p = Q_c \cdot A_c / (V_r \cdot d_p - P + f \cdot T)$$

$A_c$  = bidragande yta

$Q_c$  = ökad avrinning

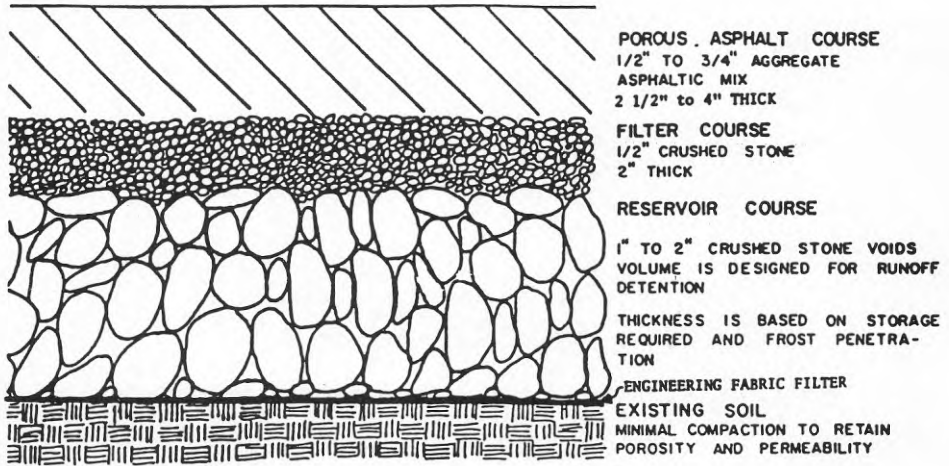
$P$  = slutlig infiltration i underliggande mark

$d_p$  = överbyggnadens tjocklek

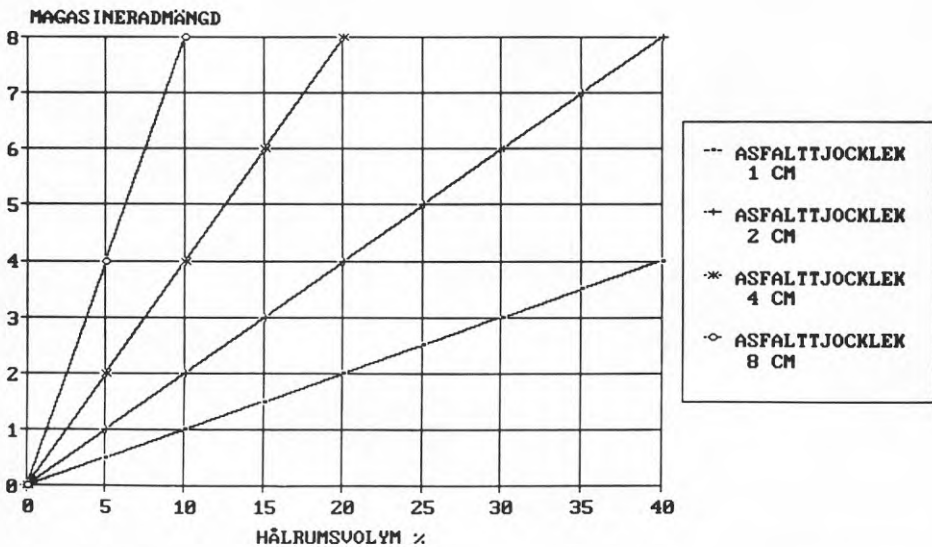
$V_r$  = porositeten

$T$  = tidsrymd när inflödet överstiger utflödet

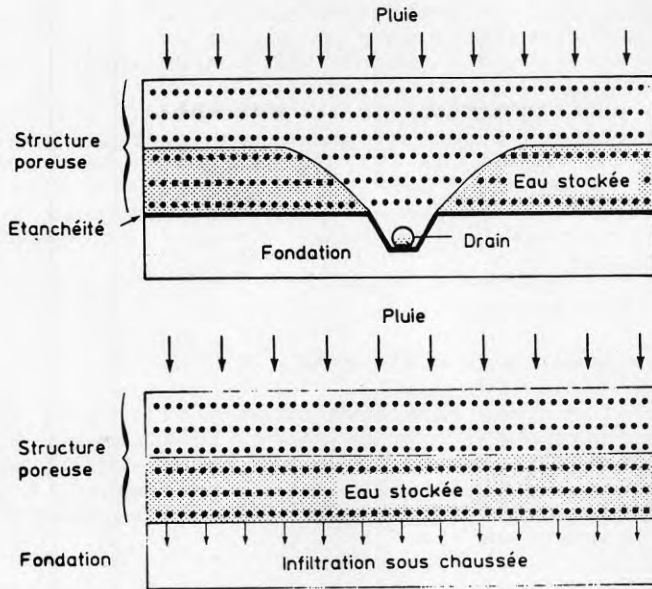
$T_s$  = maximal tillåten magasineringstid



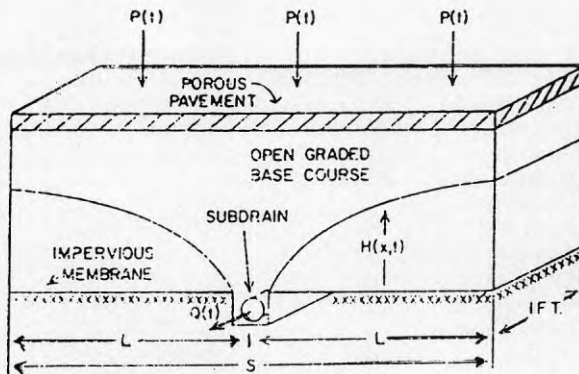
Figur 2:1 Öppen överbyggnad enligt rekommendationer i USA (Thelen, 1978)



Figur 2:2 Magasinerad mängd vatten som funktion av hålrumsvolym för beläggningar av tjockleken 1, 2, 4 och 8 cm.



**Figur 2:3** Sektion av genomsläpplig överbyggnad i Frankrike Raimbault et al. 1985.



**Figur 2:4**

Sektion genom öppen överbyggnad från USA. Jackson et al, 1974.

### 3. METODIK

Studierna av enhetsöverbyggnad omfattar dess hydrologiska och vägtekniska egenskaper samt en kalkyl av anläggningskostnaden för enhetsöverbyggnad jämfört med konventionell överbyggnad.

Studien består främst av fältstudier på ett antal utvalda testytor samt av laboratorieundersökningar utförda vid LTH. Som testytor valdes två nybyggnadsobjekt i Lund samt en yta inom ett ombyggnadsobjekt i Sundsvall. I en tidigare studie har ett 15-tal äldre ytor med enhetsöverbyggnad inventerats. Dessa har redovisats i en separat rapport och refereras i denna rapport.

#### 3.1 FÄLTSTUDIER

#### 3.1.2 Studier av äldre ytor

De äldre ytorna med enhetsöverbyggnad studerades för att kartlägga förändringen i överbyggnadens funktion med tiden. I landet finns för närvarande ca 300 anläggningar, samtliga byggda under 1980-talet. Ett antal representativa ytor valdes ut för ingående studier i fält. I figur 3:1 visas de utvalda ytornas geografiska läge.

Undersökningsmetoderna och resultaten från studien av dessa ytor finns kortfattat beskrivet i följande avsnitt. De studerade ytorna omfattar sammanlagt cirka 65 000 m<sup>2</sup> fördelat på 15 objekt enligt förteckningen i tabell 3:1.

**Tabell 3:1                      Äldre ytor med enhetsöverbyggnad som inventerats inom projektet.**

Område	Typ	Anlagt år	Storlek m <sup>2</sup>
1. Nödinge centrum			
-yta A	P	1981	950
-yta B	P	1983	1500
-yta C	P	1985	875
2. Bohus centrum			
-yta A	P	1982	1500
-yta B	P	1982	875
-yta C	P	1981	950
3. Bohus bostadsområde	P	1982	600
4. Åby travbana, Mölndal	P,M	1983	10000
5. Glasberget, Mölndal			
-nedre	P,G	1983	1550
-övre	P,G	1983	3550
6. Taggtickan, Mölndal			
-nedre	P	1983	2200
-övre	P	1983	1800
7. Spårvagnshallar, Göteborg	P,I	1984	18200
8. Digesgård, Falkenberg	P,G,M	1982	15000
9. Kvibille, Halmstad	P,G	1984	1950

Parkering (P), Gång- och cykelbanor (G), Matargata (M)  
Industri (I)

Studierna av de äldre ytorna omfattade följande moment; okulärbesiktning (3.121), infiltrations tester (3.122), kvalitetsanalys på dränerings- och grundvatten (3.123) samt provtagning på beläggning och bärlager (3.124).

### 3.121 Okulärbesiktning

Besiktningen utfördes vid två tillfällen, dels efter längre tids torka och dels omedelbart efter en period med kraftiga och volymmässigt stora regn. Anläggningar av varierande ålder, förlagda till olika grundförhållanden och klimat samt med varierande användning, valdes för studier. Synbara föroreningar och föroreningskällor på och i anslutning till ytorna noterades samt skador och synbara tecken till nedsatt infiltrationskapacitet hos anläggningarna.

Boende kring anläggningarna intervjuades om hur de upplevde enhetsöverbyggnadens funktion.

### 3.122 Infiltrationsförsök

Inom varje anläggning utfördes ett mindre antal infiltrationsförsök så att något så när representativa värden på ytornas infiltrationskapacitet kunde erhållas. För detta ändamål tillverkades en speciell infiltrometer, (se kap 3.4).

### 3.123 Kvalitetprovtagning på dräneringsvatten

I de fall det var möjligt att uppsamla dräneringsvatten från anläggningarna gjordes detta. Vattenproven togs som stickprov vid några få tillfällen. Analyser gjordes i huvudsak med avseende på traditionella dagvatten- och grundvattenvariabler.

### 3.124 Provtagning på beläggning och bärlager

På de flesta av ytorna togs borrhövar ur beläggningen för bedömning av infiltrationskapacitet i laboratorium och bestämning av halten föroreningar i beläggningen. Samtidigt mättes tjockleken på beläggning och avjämningslager i borrhålet. Stenmaterialet i avjämningslagret grävdes upp och siktades i laboratorium för bestämning av kornstorleksfördelningen.

## 3.2 STUDIER AV TESTYTOR

De studier som genomförts på de tre testytorna har omfattat följande moment.

- Mätning av ytavrinning; kvantitet och kvalitet
- Markvattenhalten i och omkring överbyggnad samt dess variation i tiden
- Dräneringsvattnets kvantitet och kvalitet
- Igensättningen av beläggningen som funktion av tiden och belastning
- Analys av föroreningsituationen i provkroppar av som uttages ur beläggningen efter olika lång tids användning
- Konstruktionens bärighet vid olika tjocklekar på överbyggnaden

- Temperaturens fördelning genom överbyggnaden vid kallt klimat
- Skadeuppföljning av konstruktionen avseende ojämnheter, sprickor, sättningar samt tjäl- och underhållsskador
- Uppföljning av utförande av ytorna

Testytorna i Lund valdes på grund av närheten till Tekniska Högskolan och medverkan från Lunds Kommun. För att få erfarenhet från kallare klimat valdes en testyta i Sundsvall i samverkan med ett kommunalt bostadsbolaget och Riksbyggen konsult i Sundsvall. I både fallen har mark med låg vattengenomsläpplighet, cirka  $10^{-8}$  m/s, valts. En förteckning över ytorna visas i tabell 3:2. Testytorna delades in i delytor för att kunna utföra vissa jämförande försök.

**Tabell 3:2 Förteckning över testytor inom projektet**

Nr	Belägenhet	Typ	ÖB-tj1 mm	Makadam	Anm
A1	Ole Römers väg, Lund	EÖB	750	32-120	
A2	Ole Römers väg, Lund	EÖB	650	32-120	
A3	Ole Römers väg, Lund	EÖB	550	32-120	
A4	Ole Römers väg, Lund	EÖB	450	32-120	
A5	Ole Römers väg, Lund	EÖB	300	32-120	
B1	Ole Römers väg, Lund	EÖB	700	18-70	
B2	Ole Römers väg, Lund	EÖB	600	18-70	
B3	Ole Römers väg, Lund	EÖB	500	18-70	
B4	Ole Römers väg, Lund	EÖB	400	18-70	
B5	Ole Römers väg, Lund	EÖB	300	18-70	
C1	Ideon p-plats, Lund	EÖB	580	18-80	
C2	Ideon p-plats, Lund	EÖB	580	18-80	
C3	Ideon p-plats, Lund	EÖB	520	18-80	
C4	Ideon p-plats, Lund	EÖB	520	18-80	
D1	Ideon p-plats, Lund	GBÖ	520	-	REF-YTA
E1	Finsta, Sundsvall	EÖB	520	18-65	
E2	Finsta, Sundsvall	EÖB	520	18-65	ISOLERING
E3	Finsta, Sundsvall	EÖB	1020	18-65	
E4	Finsta, Sundsvall	EÖB	1020	18-65	
F1	Finsta, Sundsvall	EÖB	520	-	REF-YTA

Testytorna i Lund låg inom ett nyexploateringsområde med omfattande byggtrafik som kom att trafikera dessa. Den ena ytan (A1-A5, B1-B5) utgjordes av en sträcka på en matargata till forskarbyn IDEON i Lund och den andra av en parkeringsyta (C1-C4, D1) inom samma område. I Sundsvall utgjordes testytan av en parkeringsplats (E1-E4, F1) inom ett bostadsområde som var under ombyggnad.

Till de olika testytorna har en närliggande yta med traditionell tät grus-bitumen överbyggnad valts som referensyta. De tre testytorna beskrivs närmare i kapitel 4-6 nedan.



### 3.21 Vägtekniska studier av testytor

#### 3.211 Bärighet och dimensionering

För att kunna bedöma överbyggnadens lastupptagande förmåga har två olika typer av belastningsutrustningar använts på testytorna i Lund. De två metoder var Argus Öga med statisk belastning och fallviktsdeflektometer (FWD) med impulsbelastning. Vid bägge metoderna mätes vägytans nedsjunkning under belastningen. Mätningarna med Argus Öga utfördes av LTH och mätningarna med FWD av Vägverket.

Mätningarna med FWD och Argus Öga utfördes när konstruktionen var nybyggd samt med Argus Öga före och efter en sommarperiod. Mätningar med respektive metod finns beskrivna i en studie från Kommunförbundet och Lunds tekniska Högskola (Wahlman, 1988).

I och med att enhetsöverbyggnad främst torde komma att användas på lågtrafikerade ytor har mätningar med Argus Öga också gjorts på traditionella gatuöverbyggnader samt gc-vägar och parkeringsplatser i syfte att erhålla referensvärden på vägytans nedsjunkning.

Till testytorna i Lund har använts bärlagermakadam av olika storlek. Testytan på Ole Römers väg anlades i stigande överbyggnadstjocklek, från 300 mm till 750 mm, med två olika makadamfraktioner för att kunna bedöma makadambärlagrets inverkan på bärigheten. Syftet med att använda olika fraktioner var dels att studera bärigheten hos två olika stenfraktioner av samma stenmaterial och dels att studera hanterbarheten under utförandet.

På terrassen på Ole Römers väg placerades sättningsplattor som var åtkomliga från överytan. Dessa specialtillverkades vid LTH och skulle användas för att mäta eventuella sättningar i terrassen.

#### 3.212 Materialstudier

Prov på terrassmaterialet togs vid Ole Römers väg för att bestämma undergrundens bärighet. Denna bestämdes enligt CBR-metoden (Asphalt Institute, 1978) i laboratorium genom ostörd provtagning. Metoden beskrivs närmare i avsnitt 5.2.

Fiberduken som använts till separationsmembran har testats vid Svenska textiltforskningsinstitutet avseende tryckhållfasthet.

Kornsammansättningen på makadamen till bärlager och avjämning har bestämts enligt Vägverkets metodbeskrivning.

Prov på den dränerande beläggningen har utförts vid avd Vägbyggnads undervisningslaboratorium enligt metodbeskrivning från FAS (fd FBB) s k Metodbeskrivningar MBB. De analyser som utförts är:

- provberedning, bituminös beläggingsmassa MBB 16-76
- bestämning av skrymdensitet och hålrumshalt hos dränerande asfaltbetong (provisorisk MBB)
- bestämning av kompaktensitet med pyknometer MBB 12-77
- kontroll bindemedelshalt med varmextraktion MBB 6-74

Borrkärnor med diametern 100 mm togs ur beläggningen på testytorna och äldre ytor. En batteridriven borrarutrustning av märket Decca användes.

### 3.213 Temperaturmätning och tjällyftning

På en av testytorna i Lund samt den i Sundsvall instrumenterades överbyggnaden för mätning av den vertikala temperaturfördelningen.

Som temperaturgivare används termoelement av typ T (koppar-konstantan). Ett antal mätstationer utsattes på testytorna med cirka 5-10 temperaturgivare från överytan ner till cirka 20-40 cm under terrassytan. Temperaturen avlästes manuellt med handinstrument av typen Pentronic 8010. Mätningar av temperaturen gjordes huvudsakligen under vinterperioden när konstruktionen kylades ner.

Samtidigt med temperaturmätning har överytan på överbyggnaden avvägs under vintern för att mäta tjällyftning. Avvägningen har dels gjorts längs vissa sektioner tvärs över ytan och punktvis.

### 3.214 Skadekartering

För att bedöma nedbrytningen av konstruktionen har med viss tidskillnad eventuella skador på vägytan noterats. På testytorna i Lund har utvecklingen av tvärgående ojämnheter mätts med avvägning. Skador på ytan har inmätts och markerats på en översiktsritning. Samtidigt har skadorna dokumenterats med foto.

Efter konstruktionstiden slut var parkeringsytorna i IDEON kraftigt nedsmutsade och dessutom hade den dränerande asfalt av typen HADB-12 använts istället för DRAINOR som var avsett. Därför beslutades att yta nr C1 och C2, se figur 4:2, skulle rivas upp och omläggas enligt de ursprungliga planerna med DRAINOR. Prov togs vid tillfället förhand på olika nivåer i konstruktionen :

- slitlager (dränerande asfaltbetong)
- avjämningslager (finmakadam)
- bärlager och magasin (grovmakadam)
- separationsmembran (fiberduk)
- undergrund (moränlera)

## 3.22 Studier av vatten- och föroreningstransport

### 3.221 Nederbörd och stoftnedfall

Nederbörden uppmättes med SMHIs standardmätare, placerad 1,5 m över markytan, vilken avlästes en gång per vecka (se figur 3:2). För mätningar av regnets intensitet användes en registrerande mätare typ PLUMATIC II med upplösning 1 min och varje tippning omfattande 0,2 mm. Dessutom användes en veckogående Hellman mätare större delen av mätperioden.

I Sundsvall användes en regnmätare typ PERFEKT med diametern 180 mm. Mätaren var placerad 450 meter från testytan. Atmosfäriskt nedfall mättes som torr och våt deposition i en stoftsamlare av typen NILU SF1 i Ideon (se figur 3:2).

### 3.222 Markvattenmätning

Markvattenrör har nedförts till en nivå av 1 meter under enhetsöverbyggnadens botten i parkeringsytorna i IDEON. Samtliga rör är tillslutna med lock nedsänkta i den dränerande asfaltytan. Mätningarna genomfördes en gång per månad samt efter kraftiga nederbördstillfällen. Mätning utfördes på var tionde centimeter med radiometrisk utrustning av fabrikat Basc Nea. Dessutom nedfördes ett markvattenrör i en närbelägen asfaltyta som utförts traditionellt. Jämförelse av markvattenhalten i de båda överbyggnadstyperna skulle därmed kunna göras.

### 3.223 Vattenstånd i överbyggnaden

Vattenståndsrör har placerats i enhetsöverbyggnaden både på parkeringsytorna i IDEON och i Ole Römers väg. På varje delyta placerades 3 rör direkt på fiberduken ovanpå terrassen. I varje delyta utfördes dessutom en fördjupning av storleken ca 1 m<sup>2</sup> i vilken 3 vattenståndsrör placerades. Samtliga rörs överdel tillslöts med gummipropp. Fördjupningens botten lades ca 0,3 m under terrassens ordinarie nivå (se figur 3:3a).

Rören i fördjupningen skulle ge upplysningar om fiberdukens genomsläpplighet och markens infiltrationsförmåga medan övriga rör ger klarhet i hur länge vattnet blir stående i konstruktionen efter varje enskilt nederbördstillfälle. Ur figur 3:4 framgår hur mätroren i fördjupningen går igenom asfaltytan och hur mätningen utföres. Vattennivån mättes med vattenståndsmätare med mätprob och indikatorlampa. Eftersom vattenståndsfluktuationerna var svåra att fånga genom denna mätningssätt placerades en mätprob i ett av vattenståndsrören i Ole Römers väg. På mätproben var elektroderna placerade på en centimeters avstånd. Vattenståndsfluktuationer på större än en centimeter kunde därför registreras i konstruktionen. Dessa mätningar gjordes under en mycket begränsad tidsperiod.

### 3.224 Avrinning av dräneringsvatten

Mätningar av dräneringsvatten gjordes i båda parkeringsytorna i Lund, i Ole Römers väg och i Sundsvall. I parkeringsyta nr C4 i Lund finns en nedstigningsbrunn placerad. Över brunnen står en mätbod. Dräneringsledningen i enhetsöverbyggnaden mynnar i ett skarpkantat mätöverfall som är placerat i brunnen. Vattennivån registrerades med hjälp av en veckogående mekanisk pegel av typ SMHI (se figur 3:5). Skarpkantade mätöverfall placerades också i rännstensbrunnen belägen i yta nr C1, i en nedstigningsbrunn i Ole Römers väg (A1) och i en rännstensbrunn i Sundsvall (E4). Vid samtliga ställen registrerades vattennivån med en mekanisk pegel.

För att undvika bortfall av mätdata samt få finare tidsupplösning på mätningen används också ett ekolod för vattennivåregistrering. Ekolodet placerades i mätboden. Alla data från ekolodet lagrades på band.

För kvalitetsprovtagning på dräneringsvattnet användes en Manningprovtagare vilken kan ta 24 prover med ett förinställt prov-

tagningsintervall från 3,75 min upp till 24 timmar (se figur 3:6).

Vid den sydligast belägna kortsidan av de båda parkeringsytorna utförs uppsamling av dräneringsvatten från olika nivå i anläggningen. Perforerade dräneringsslangar anbringades på nivåerna 1/3 och 2/3 från överkant på asfaltytan samt i nivå med fiberduken. Dräneringsvattnet uppsamlades i provflaskor placerades i nedstigningsbrunnen.

### 3.225 Grundvattenmätning

4 grundvattenrör skulle nedföras till ett djup av 4 m under markytan vid testanläggningarna. Grundvattenrören skulle placeras både uppströms och nedströms anläggningarna i IDEON och i Ole Römers väg. Neddrivningen av grundvattenrören misslyckades dock varvid en större borrhög skulle användas. Leveransen av borrhögen blev dock försenad med 1.5 år varför grundvattenmätningarna fick utgå från programmet.

### 3.226 Infiltrometertest

Den dränerande beläggnings utsättes för nedsmutsning så att tillgängliga hålrum minskas och nedtransporten av vatten försämrats. På provytorna har försök utförts för att mäta beläggningsgenomsläpplighet vid olika tidpunkter. Beläggnings förmåga att dränera vatten kallas i denna rapport för infiltrationskapacitet och anges i antal mm vattenpelare som infiltrerar i beläggnings per minut (mm/minut). Proverna har utförts i fält och på uppborrade provkroppar,  $\phi 100$  mm, i laboratorium. Mätningen har utförts i fält med ringinfiltrometer och med motsvarande utrustning i laboratorium på borrhäror.

I fält bestämdes infiltrationskapaciteten genom försök med ringinfiltrometer med två respektive tre ringar enligt figur 3:7. Volymen vatten varierades beroende på förmodat värde på infiltrationskapaciteten och påfördes i omgångar så att en vattenpelare på högst 45 mm bildades på asfaltytan. Ringarna tätades mot underlaget med uppvärmd bitumen så att utläckaget minimerades. Tiden för påford volym vatten att infiltrera i beläggnings mättes och infiltrationskapaciteten bestämdes som infiltrerad volym vatten per tidsenhet. I övrigt fungerar den som en vanlig infiltrometer. Vid mätning blir åtgången av vatten stor på nya asfaltytor.

När medelinfiltrationen skall bestämmas för stora ytor utplaceras 8-10 ringinfiltrometrar åt gången och fastsättes med bitumen. Därefter kan infiltrationskapaciteten på respektive plats bestämmas.

För att bestämma gränserna mellan ytor med olika infiltrationskapacitet användes bevattning med vattenkanna och visuell bedömning. Ögat blir relativt snabbt tränat till att avgöra infiltrationskapaciteten på med tillräcklig noggrannhet. 6 - 8 mätpunkter kan avverkas per timme med detta förfarande.



Infiltrationstester gjordes också på de borrprover som togs på asfalten. Analyserna utfördes vid avdelning Vägbyggnads laboratorium enligt den principskiss som visas i figur 3:8. Infiltrationskapaciteten,  $k_c$ , beräknades enligt följande formel:

$$k_c = - \frac{A_c \cdot H}{A_p \cdot t} \cdot \ln \frac{h_1}{h_2} \cdot 60$$

$k_c$  = Infiltrationskapacitet, mm/minut

$A_c$  = Cylinderns area,  $\text{dm}^2$

$A_p$  = Provkroppens area,  $\text{dm}^2$

$H$  = Provkroppens medeltjocklek, mm

$t$  = Tiden från vattennivån  $h_1$  till  $h_2$ , s

$h_1$  = Vattennivån vid försökets början, mm

$h_2$  = Vattennivån vid försökets slut, mm

Ett samband mellan mätning i fält och mätning i laboratorium kunde påvisas. Det var då viktigt att borrkärnan inte var medsmutsad av borrkak på dess yta. Vid upptagning av beläggningsprover kylde borren utvändigt för att förhindra nedsmutsning.

Även en utflödesmätare som användes av Vägverket och VTI för att bestämma genomsläppligheten hos dränerande asfaltbetong provades. Se figur 3:9. Mätaren består av en cylindrisk vattenbehållare som sättes på vägytan och anligger på ytan med en gummiring och tyngder. På så sätt erhålles ingen tätning mellan cylinder och asfalt. Vid mätning påföres en liten vattenvolym asfaltytan och tiden för denna volym att rinna ut ur behållaren mätes. Vid försök att mäta var den horisontella utströmningen ovanpå asfaltytan större än den vertikala infiltrationen i beläggningen. Några användbara resultat erhöles därför inte.

### 3.227 Rengöringsförsök och sedimentprovtagning

Borrprover togs till laboratorium där allt löst material avlägsnades med borste. Därefter utsattes de för högtrycksspolning. Det frigjorda materialets mängd, kornkurva och föroreningssammansättning bestämdes.

Eftersom testytorna i Lund blev kraftigt igensatta under byggnadsskedet och att även de äldre ytorna visade tecken till partiell igensättning gjordes försök att rengöra den dränerande asfaltbetongen och öka dess infiltrationsförmåga.

Några olika metoder för rengöring provades: maskinell utrustning med roterande borste, våtbaserad sopning med vakuumsugning, handutrustning för högtrycksspolning och dammsugning samt med prototyper av rengöringsutrustning för öppna beläggningar apterbar på befintliga gatusopningsmaskiner (se vidare kapitel 7.7).

Provtagning på vägsedimenten gjordes dels på med borste uppsopat material men också på den vätska som sugits upp med hjälp av en våtdammsugare. När högtrycksmunstycket riktades mot asfalten i en viss vinkel ansamlades en sträng med vägsediment framför munstycket vilket med lätthet kunde sugas upp. Vid försöken markerades en yta på 1x1 meter inom vilket vägsedimenten sögs upp. Se figur 3:10 och 3:11.

### 3.228 Snötest

Eftersom vintrarna i Skåne inte alltid är snörika gjordes ett artificiellt snösmältningsförsök. Snö hämtades från en snötipp och spreds utöver yta nr C3-C4 i Ideon. Snöns vatten och föroreningsinnehåll bestämdes varefter snön fick avsmälta under fyra dygn. Under hela avsmältningsförloppet registrerades avrinningen i dräneringsröret och prover togs på dräneringsvattnet. Försöket beskrivs vidare i kapitel 7.122.

### 3.229 Analysmetoder

De kemiska analyserna på dräneringsvatten, dagvatten, snö, väg-sediment och på prover tagna i vägkroppen utfördes vid laboratoriet vid Institutionen för Teknisk Vattenresurslära.

De i undersökningen studerade föroreningsvariabler finns beskrivna i bilaga 2.

Makadam, grus, material på fiberduken etc. vägdes upp i en-liters plastflaskor. Olika mängder vägdes upp beroende på tillgången på material. Till proven sattes 500 ml destillerat vatten med pH 4.5. Provet skakades i skakapparat (typ Pariserhjul) i ca 20 timmar. Därefter silades proven genom en Büchertratt varpå prov och utrustning sköljdes med destillerat vatten. Metallproverna bestående av 40 ml prov + 10 ml HNO<sub>3</sub> autoklaverades och fick dekantera. Variablerna koppar (Cu), zink (Zn), bly (Pb), kadmium (Cd), krom (Cr) och aluminium (Al) analyserades med hjälp av atomabsorbtionsspektrofotometer. P-tot autoklaverades enligt SIS och mättes på AA-II. Prov på klorid (Cl) filtrerades genom grovt filterpapper (V5) och analyserades genom titrering.

Jordproverna analyserades av AB Lennart Månsson International i Helsingborg.

Jordproverna torkades till lufttorrhet i 27°C varefter de sikta-des genom 2 mm maskvidd. Inför metallanalyseringen extraherades proverna med 0.025 M EDTA lösning v/v 1/10, i en timme. Förbe-handlingen inför kväveanalyserna utfördes som ovan med den skill-naden att de extraherades med 1 M kaliumklorid (KCl) i två tim-mar. Totalfosfor och totalkväve analyserades enligt svensk stan-dard. Samtliga metaller analyserades med ICP-metoden, där provet upphettas till 800 - 1300°C och mätningarna görs spektrografiskt.

### 3.3 LABORATORIEFÖRSÖK FÖR STUDIE AV FÖRORENINGSBELASTNING

Eftersom de äldsta ytorna byggda med enhetsöverbyggnad endast var cirka 3 år gamla när projektet startade utfördes tester i labora-torium. Dessa tester syftade till att bedöma ytornas funktion efter lång tids användning. Framförallt ansågs det svårt att uppskatta igensättningshastigheten av hålrummen i asfalten och i överbyggnaden samt minskningen av genomsläppligheten hos fiberd-uken.

Laboratorieförsöken innebar att snabbare tidsförlopp kunde uppnås genom att tiden mellan regntillfällena förkortades. Därmed kunde långsiktiga effekter på igensättningen studeras. Laboratiestü-



dierna gav också möjlighet att under kontrollerade förhållanden mäta inverkan av regn- och dagvattnets kvalitet på igensättningshastigheten. Dessutom kunde föroreningstransporten genom vägkroppen och i underliggande marklager studeras.

### 3.31 Försöksuppläggning

I laboratoriet byggdes 12 boxar med storleken 1 x 1 m<sup>2</sup>. I figur 3:12 visas uppläggningsplanen av försöket. Varje yta bestod av, från ytan räknat, ca 5 cm dränerande asfaltbetong, 2 cm avjämningslager, 50 cm makadambärlager, fiberduk och undergrund på 50 cm grus- eller lermaterial. Makadamen utgjordes av den ena fraktionerna av makadam, 18-70 mm, som användes testytan på Ole Römers väg (se avsnitt 5.2).

Den dränerande asfaltbetongen, DRAINOR från SKANSKA, användes som beläggning i alla boxar utom i nr 10 och nr 12 i vilka dränerande asfaltbetong av typen HABD12 enligt Vägverkets föreskrifter (BYA-84) användes. De båda asfalttyperna användes för att se om där är någon skillnad i risken för igensättning dem emellan. I boxarna nr 11 och nr 12 användes moränlera som undergrund istället för bärlagergrus vilket användes i de övriga. Moränleran hämtades från terrassen i parkeringsytan i Ideon. Genom att välja två jordmaterial i konstruktionen skulle skillnader i förekommande föroreningstransport ned till undergrunden och "grundvattnet" simuleras.

Varje testbox omgärdades av stabila sidoväggar för att kunna överföra laster som uppkommer när ingående lager i överbyggnaden packades. Dessutom var varje testbox omsluten av PVC-duk för att förhindra läckage mellan boxarna.

Packningen av materialet i boxarna utfördes efter anvisningar från DYNAPAC och skedde växelvis under utläggning av de olika lagren. Packningsgraden 70-80 % i undergrunden erhöles. Perforerade dräneringsrör placerades på olika nivå i konstruktionen för att möjliggöra provtagning på avrinnande vatten. De färdiga testboxarna med provtagningsrör visas i figur 3:13.

Dagvatten samlades upp i en dagvattenledning i Ole Römers väg och leddes in till en blandningstank vars volym var 4.8 m<sup>3</sup>. Sammansättningen av detta dagvatten förväntades relativt väl representera typisk fordonstrafikerad urban miljö.

Föroreningsinnehållet i det påförda dagvattnet samt den tillförda föroreningsmängden över respektive testbox redovisas separat i bilaga 3. Dagvattnet som spreds över ytorna i testboxarna analyserades med två metoder dels med ICP-metoden för att få vattenfasen av föroreningsinnehållet och dels med atomabsorptionsspektrofotometer för att även det partikulärt bundna föroreningsinnehållet.

Från tanken fördelades dagvattnet via ett sprinklersystem över respektive yta enligt följande;

Yta 1	dagvatten motsvarande	1.5	års nederbörd	
Yta 2	- " -	6.5	- " -	
Yta 3	- " -	10	- " -	
Yta 4	- " -	20	- " -	
Yta 5	- " -	28	- " -	
Yta 6	- " -	25	- " -	
Yta 7	- " -	15.5	- " -	
Yta 8	- " -	0	- " -	, referensyta
Yta 9	- " -	28	- " -	
Yta 10	- " -	30	- " -	
Yta 11	- " -	28	- " -	
Yta 12	- " -	28	- " -	

Vattenutspridning utfördes på ett sådant sätt att både regn med låg intensitet och lång varaktighet (frontala regn) såväl som högintensiva regn med kort varaktighet (konvektiva regn) representerades. Perioder med längre uppehåll i vattenutspridningen genomförs också för att försöka efterlikna längre torkperioder. Det går naturligtvis ej att helt efterlikna de naturliga förhållandena i laboratorium. Upptorkningsperioden mellan varje regn var troligen för kort. Detta kan dock ha motverkats av att temperaturen i lokalen låg högre än utetemperaturen större delen av året (rumstemperaturen var ca 20°C). Detta innebär också att de kemiska reaktioner och nedbrytningsprocesser som förekommit i testboxarna ej helt motsvarar verkligheten.

Efter avslutad "bevattning" på ytorna lyftes asfaltytorna försiktigt bort med travers. För att bestämma föroreningsinnehållet i asfalten placerades en cylinder med diametern 35 cm i centrum på asfaltytan. Cylindern tätades mot asfalten. Asfalten inuti cylindern högtryckspolades med 20 l vatten under vattentrycket 60 mvp. En handspolningsutrustning typ K.E.W Hobby användes.

Under det att asfaltytorna högtrycksspolades uppsamlades vattnet och föroreningarna i ett kärl placerat under asfalten. Utav det uppsamlade vattnet togs ett välomblandat prov för analys.

I boxarna där asfaltytan lyfts bort togs materialprov förhand på följande nivåer;

- 1) på avjämningslagret
- 2) överst i bärlagret
- 3) i mitten på bärlagret
- 4) i bärlagret strax ovanpå fiberduken
- 5) på fiberduken
- 6) på terrassen
- 7) i undergrunden på nivåerna 5, 15 och 25 cm under terrassen

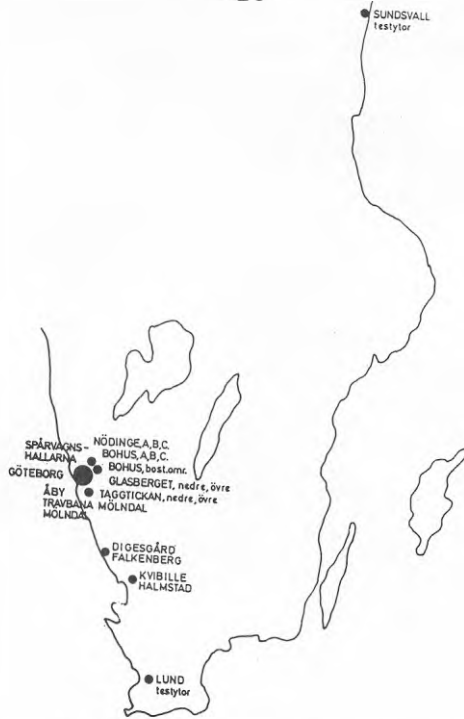
Lager för lager lyftes varsamt undan med skyffel varvid prov togs på stenmaterialen. Prov på jordmaterialet under fiberduken togs genom att cylindrar med diametern 100 mm slogs ned till respektive nivå för provtagning.

### 3.4 UTFÖRANDE OCH EKONOMI

Själva anläggandet av testytorna har följts upp med insamling av erfarenheter från entreprenörerna som utfört ytorna och med direkta studier vid byggandet av testytorna i Lund.

Ytterligare erfarenheter samlades in med två enkäter: en enkät till entreprenörer som byggt enhetsöverbyggnad och en enkät till förvaltare för områden med enhetsöverbyggnad. Enkäterna bifogas i bilaga 7-8 och redovisas under kapitel 7.8. Enkäten begränsades till att gälla byggare och förvaltare för ett 20-tal av de kända äldre ytorna.

En ekonomisk jämförelse mellan utförande med enhetsöverbyggnad och utförande på traditionellt sätt har gjorts utifrån kalkyler för tre olika objekt. Jämförelsen har delats upp på investeringskostnader och drift- och underhållskostnader. Uppgifter om kostnader för drift och underhåll av hårdgjorda ytor i tätbebyggda områden har insamlats genom kontakt med kommuner och enskilda förvaltare.



Figur 3:1 Platser för fältstudier av äldre anläggningar.



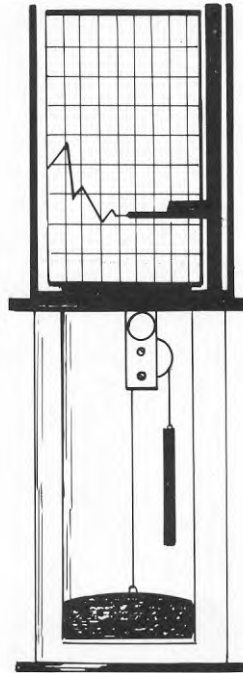
Figur 3:2 Nederbördsmätare och stoftsamlare



**Figur 3:3** Vattenståndsrör placerade i fördjupning



**Figur 3:4** Mätutrustning för vattenstånd

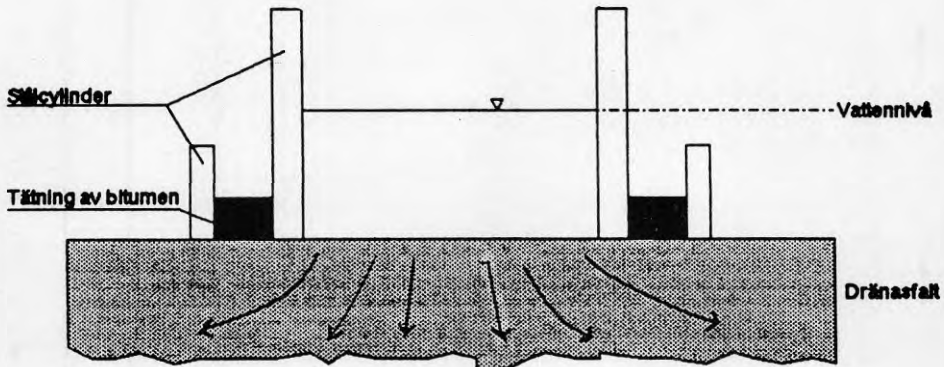


Figur 3:5 Schematisk bild av mekanisk pegel, typ SMHI



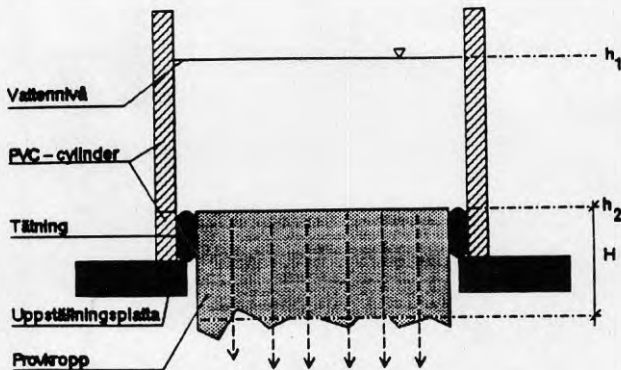
Figur 3:6 Manningprovtagare





Figur 3:7 Principskiss av ringfiltrometer för fältbruk med två ringar.

$k_C$  = Infiltrationskapacitet, mm/minut  $t$  = Tiden från vattennivån  $h_1$  till  $h_2$ , sek  
 $A_C$  = Cylinderns area,  $dm^2$   $h_1$  = Vattennivån vid försökets början, mm  
 $A_P$  = Provkroppens area,  $dm^2$   $h_2$  = Vattennivån vid försökets slut, mm  
 $H$  = Provkroppens medeltjocklek, mm



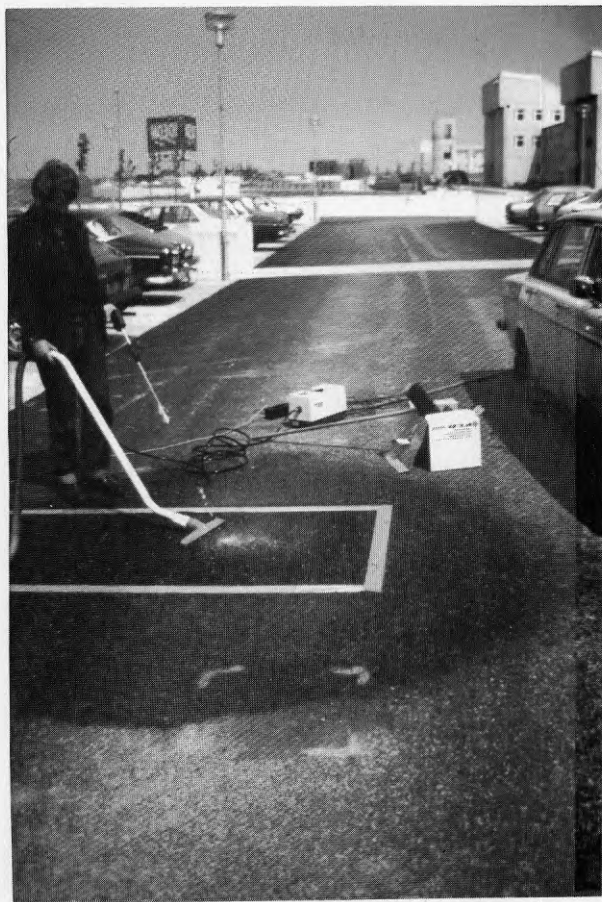
Figur 3:8 Mätning av infiltration i laboratorium på dränerande asfaltbetong



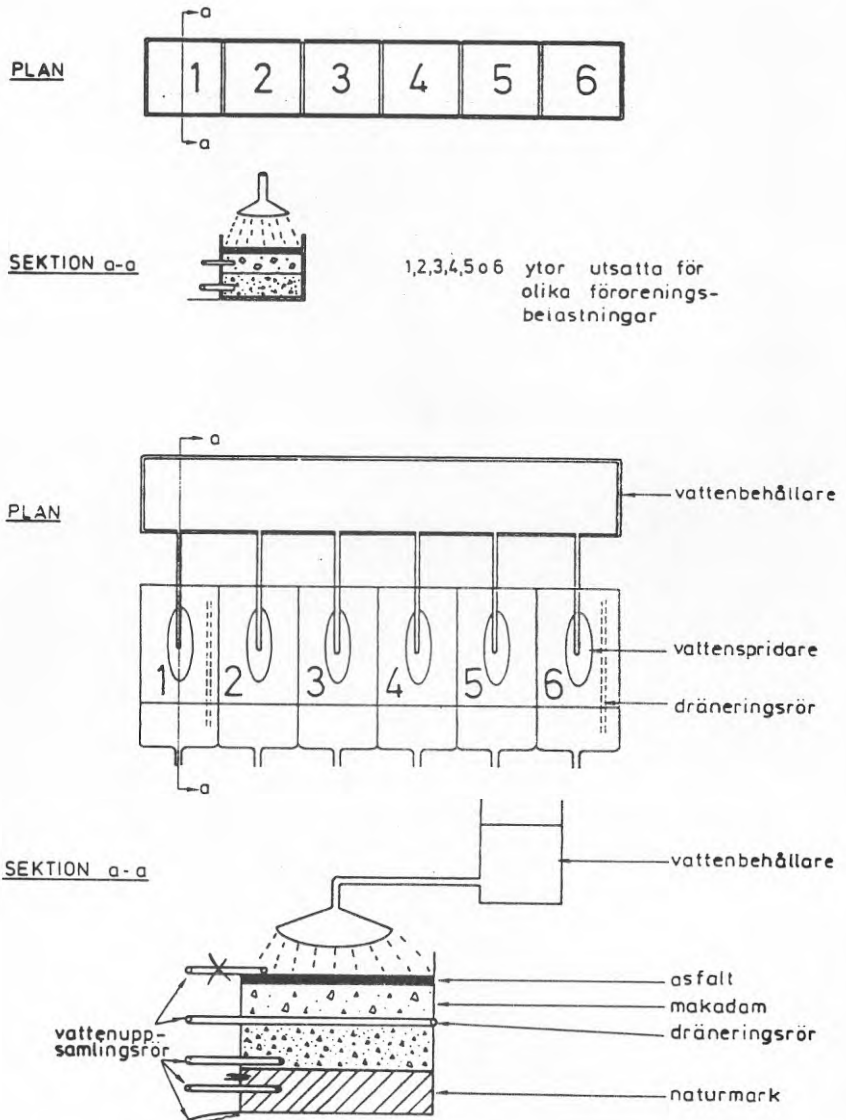
Figur 3:9 Utflödesmätare från VTI.



Figur 3:10 Försök med högtryckspolning på testyta C1 i Lund.



**Figur 3:11** Upptagning av losspolat sediment på testyta C1 i Lund med våtdammsugare.

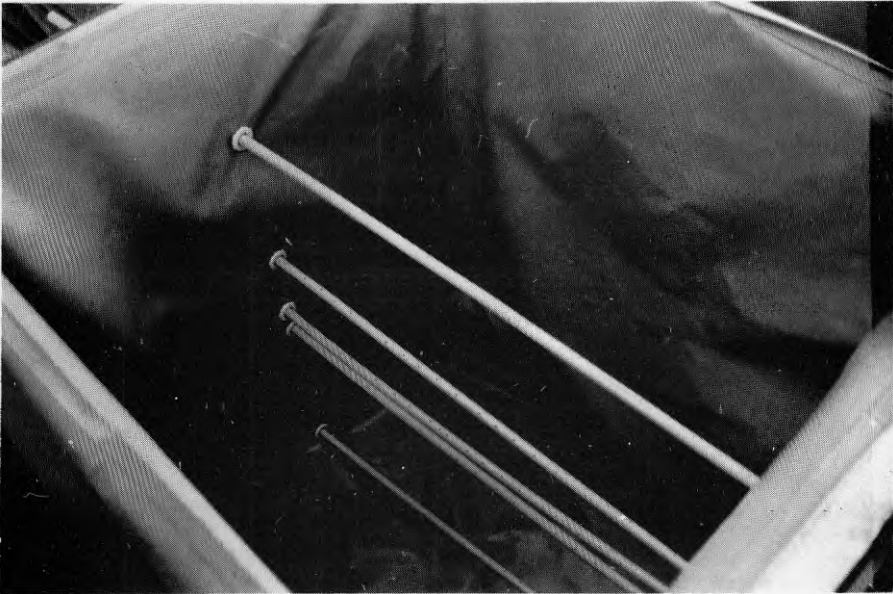


Figur 3:12

Scematisk bild över uppläggning i laboratorium för accelererat bevattningsförsök med enhetsöverbyggnad



**Figur 3:13a** Testboxar för laboratorieförsök med enhetsöverbyggnad. Provtagningsrören framgår i bilden.



**Figur 3.13b** Testbox med dräneringsrör innan påförande av undergrund och överbyggnad.



## 4 TESTYTA PARKERINGSPLATS IDEON, LUND

### 4.1 UTFORMNING

Den första testytan med enhetsöverbyggnad som anlades i Lund utgjordes av körytorna inom en av parkeringsplatserna till den nybyggda forskarbyn Ideon. En vy över parkeringsplatsen visas i figur 4:1, strax efter det att alla ytor tagits i drift.

Själva parkeringsplatsen består av körytor med slitlager av asfalt och uppställningsytor (p-rutor) med betongstensbeläggning. På så vis utgör asfaltytorna en mindre del av den hårdgjorda ytan och avrinning av ytvatten sker in på asfaltytorna ifrån betongstensbeläggningen.

Parkeringsplatsen har åtta avgränsade körytor. Dessa är 7 meter breda och mellan 25-30 meter långa, totalt omfattande cirka 2000 m<sup>2</sup>. Av dessa har fyra stycken, C1-C4, anlagts med enhetsöverbyggnad och de övriga med grus-bitumen överbyggnad. En av dessa, D1, användes som referensyta. Figur 4:2 visar parkeringsplatsens utformning. Ytan D1 anlades först efter det att alla husbyggnadsarbeten var avslutade. På så vis skiljer det cirka ett år i ålder mellan testytor och referensytor.

Längs körytornas ena sida är vanliga dagvattenbrunnar utplacerade. Ytorna projekterades ursprungligen med ett traditionellt utförande med tät grus-bitumen överbyggnad och brunnar. Brunnarna fick vara kvar på de ytor där enhetsöverbyggnaden anlades som en säkerhetsåtgärd efter ett önskemål från entreprenörens sida.

Enhetsöverbyggnaden skulle utföras med tjockleken 500 mm bestående av slitlager av dränerande asfaltbetong av typen DRAI-NOR12 i cirka 40 mm, 0-30 mm avjämningslager av finmakadam 8-18 mm, 450 mm bärlager och magasin av grovmakadam 18-80 mm samt fiberduk.

Referensytan har en överbyggnad på 500 mm bestående av 25 mm tät asfaltbetong MAB12, 50 mm AG, 125 mm bärlagergrus samt 300 mm förstärkningslager av grus.

### 4.2 UTFÖRANDE

#### 4.2.1 Anläggande av ytor

Parkeringsplatsen anlades i olika omgångar för att kunna användas som körytor och uppställningsytor under byggtiden. Det som först utfördes var körytorna, C1-C4, med enhetsöverbyggnad som direkt belades med dränerande asfaltbetong för att kunna trafikeras. Vid sidan av körytorna byggdes uppställningsytorna upp och belades provisoriskt med bärlager för att användas som lagerutrymmen. Alla anläggningsarbeten har utförts av Skanska AB.

Området där forskarbyn byggdes utgjordes av tidigare åkermark. Där den aktuella parkeringsplatsen skulle förläggas behövdes en uppfyllning från befintlig marknivå till terrassnivå på cirka 1-1.5 meter. Fyllnadsmassorna togs från ur-

schaktning till de intilliggande byggnaderna. Uppfyllnaden kom att bestå av packad moränlera. I figur 4:3 visar terrassytan efter uppfyllnad och när dagvattenbrunnarna är utplacerade.

Efter grovterrassering avjämnades och justerades ytan med bladschaktare samt grävdes en fördjupning för vattenstånds-mätning.

Innan bärlagret av makadam påfördes utlades ett separationsmembran av fiberduk för att förhindra att bärlagret och terrassmaterialet sammanblandades. Fiberduken rullades ut med cirka 0.5 meters övertäckning. Se figur 4:4. Fiberduken var av märket Polyfelt med kvaliteten TS 500. Duken drogs inte upp som separation mot intilliggande ytor med överbyggnader med grusmaterial. På så vis kom eventuellt vatten i makadammagasinet att ha direkt kontakt med intilliggande grusöverbyggnader.

Det kombinerade bär- och magasinlagret av grovmakadam påfördes fiberduken i två etapper med traktorlastare efter tippning av makadamen i början av ytan. Under den första etappen blandades tre olika fraktioner, 18-24, 23-32 och 32-80 mm, i lika proportioner på platsen av traktorlastare innan den påfördes ytan. Se figur 4:5. Detta förfarande frångicks varvid sammanblandningen skedde vid krossverket istället pga svårigheter att erhålla en homogen blandning som inte var separationsbenägen.

Där mätutrustningen var placerad påfördes grovmakadamen separat med grävskopa. Se figur 4:6. På fiberduken utlades en dräneringsledning  $\phi 100$  mm, som övertäcktes med fin makadam i fraktionen 8-18 mm. Ledningen skulle egentligen ha utlagts på en nivå cirka 100 mm över fiberduken för att tillåta en viss magasinering av dagvatten i bärlagret innan avrinning skulle ske.

Dräneringsledningen från ytorna C3 och C4 anslöts till en speciell mätbrunn i yta nr C3. Mätbrunnen är förbunden med dagvattensystemet med en tät PVC-ledning.

Dräneringsledningen från ytorna C1 och C2 drogs i riktning mot dagvattenbrunnen på respektive yta.

Grovmakadamen i bärlagret packades med slätvalsvält. Avjämningslagret av finmakadam påfördes bärlagret med asfaltläggare för att erhålla ett jämnt utförande. Trots detta blev avjämningslagret tjockare än vad som var avsett. Finmakadamen var av fraktionen 18-25 mm och blev påförd i cirka 50 mm tjocklek. Allt makadammaterial levererades från AB Sydsten i Dalby.

Avsikten var att slitlagret skulle utgöras av dränasfalt av typen DRAINOR12. Vid utläggningen av asfaltmassan ifrågasattes om massan var av rätt typ men entreprenören menade att det var DRAINOR12 som blev utlagt. Efter kontroll i avdelning vägbyggnads laboratorium konstaterades att asfaltmassan var av typen HABD12 utan fiberinblandning. Detta medförde att entreprenören medgav omläggning av ytorna nr C1 och nr C2. Omläggningen kom att utföras i samband med övriga hårdgjorda ytor på parkeringsplatsen iordningsställdes.

Beläggningssmassan utlades direkt med asfaltutläggare på avjämningslagret utan extra justering. Eftersom detta kunde vara instabilt när lastbilen tippade massan så att spår skulle bildas i underlaget, prövades först att indirekt tillföra asfaltmassan i asfaltutläggarens tråg med omlastning med hjälp av traktorlastare från lastbilen. Asfalten tippades i traktorlastaren vid sidan av läggaren och tömdes där efter i tråget. Se figur 4:7a-b.

Detta förfarande frångicks eftersom man inte fann ovannämnda svårigheter med att lastbilen skulle riva upp finmakadamen. På resterande ytor, C1, C2 och C3, utfördes beläggningen på vanligt sätt genom att asfaltutläggaren sköt lastbilen framför sig och asfaltmassan tippades direkt i tråget. Se figur 4:8.

#### 4.22 Ombyggnad av parkeringsyta C1 och C3

Det efter byggnadstidens slut kraftigt igensatta slitlagret av dränerande asfaltbetong av typen HABD på yta C1 och C2 grävdes bort med hjälp av en traktorlastare. Se figur 4:9. Vid uppgrävningen togs prover på överbyggnadens olika materiallager och undergrund. Samtidigt bedömdes eventuella skador eller sättningar på ytorna eller i provgropen.

Vid omläggningen av de två körytorna justerades avjämningslagret för att kompensera den sättning på cirka 4-8 cm som skett på ytorna C1-C4 enligt entreprenören. Se figur 4:10. Justeringen var nödvändig för att erhålla samma höjd som intilliggande ytor med stenbeläggning. På så sätt ökade avjämningslagret på ytorna C1 och C2 med cirka 6-10 cm. Den nya asfaltmassan utfördes på vanligt sätt med tippning av massan i utläggarens tråg. Asfaltmassan var av typen DRAINOR12 från Skanska.

I samband med färdigställande av övriga ytor justerade kanterna på ytorna C3 och C4 med en cirka 0.5 meter bred kil för att kompensera den höjd skillnad som uppstått. Se figur 4:11.

Asfaltytorna användes cirka ett års tid som interna transportvägar och uppställningsytor innan övriga markytor på parkeringsplatsen iordningställdes. Under denna tid skyddades asfaltytorna inte för påverkan och nedsmutsning.

#### 4.3 INSTRUMENTERING

Alldeles bredvid testytorna placerades tre nederbördsmätare och en stoftsamlare. Dessa beskrivs närmare i avsnitt 3.31.

På ytan C3 sattes 6 st mätstationer ned med elektroniska temperaturgivare för att mäta vertikal och horisontell temperaturfördelning. Temperaturgivarna var av typen koppar-konstantan och hade riggats upp på ett stativ för att kunna sättas ned i makadamlagret. Givarna placerades i ett system om sex vertikala mätstationer för att kunna korrigera för variationer i temperaturer. Se figur 4:12. För alla sex mätstationer placerades temperaturgivarna på samma nivåer enligt figur 4:13. Mätstationerna sattes ned efter att makadamlagret var

utfört genom att denna grävdes upp och återfylldes. På så sätt kunde givarna placeras på önskade nivåer. Se figur 4:14. De olika temperaturgivarna anslöts till ett mätskåp för manuell avläsning.

I den intilliggande körytan med traditionell överbyggnad ned-sattes två mätstationer med temperaturgivare på motsvarande nivåer som för ytan med enhetsöverbyggnad. Dessa anslöts inte till ett mätskåp utan samlades i en speciell behållare med mätkontakter som kunde sättas i vägytan direkt över varje mätstation.

Samtliga ytor uppmättes och markeringar sattes ut längs kanten på varje meter med PK-spik för att kunna göra upprepade ytavvägningar av tvärsektionen. Avvägningarna av körytorna påbörjades först efter att dessa var helt färdigställda och intilliggande byggnadsarbeten hade upphört. Tre fixpunkter valdes i ytornas närhet för att kunna erhålla hög noggrannhet på ytavvägningarna.

För provtagning på dräneringsvatten lades perforerade slangar,

ø 50 mm, i ytorna nr 1 och nr 4. Dräneringsslangarna lades på olika nivåer i överbyggnaden: direkt på fiberduken, i mitten på makadambärlagret och i avjämningslagret strax under slitlagret. Se figur 4:15. Samtliga dräneringsslangar anslöts till provtagningsflaskor placerade i mätbrunnen på yta C4. Se figur 4:16. Genom denna mätutrustning möjliggjordes provtagning på förorenat vatten på olika nivåer i konstruktionen. Vattennivån i konstruktionen steg dock aldrig till tillräckligt hög nivå för provtagning. Se även avsnitt 3.34.

En fördjupning grävdes ner cirka 30 cm under terrassnivån på ytorna nr C1 och C2. Fördjupningen gjordes cirka 1 x 1 m<sup>2</sup> och instrumenterades med mätrör bestående av perforerade PVC-rör, ø 25 mm, fastsatta på en platta av PVC. Dessa rör går upp genom överbyggnaden för att kunna mäta vattenstånd i gropen. De förslöts med en propp av gummi och skyddslock av järn.

Intill fördjupningen ställdes motsvarande PVC-rör direkt på fiberduken på terrassnivån. Rören ställdes över körytans bredd med ett rör i mitten och två rör cirka en meter in från kanten. Avsikten med de sistnämnda mätrören var att kunna mäta vattenståndet i makadammagasinet under ett regntillfälle medan rören i fördjupningen dessutom skulle ge information om fiberduken genomsläpplighet.

Två stycken markvattenrör slogs ned genom fiberduken i vardera av ytorna C2 och C3. Rören bestod av galvaniserade stålrör. Se figur 4:17.

Till mätbrunnen i yta C4 anslöts också dräneringsledningen från samtliga fyra parkeringsytorna för flödesmätning och provtagning. Dräneringsröret mynnade i ett 45-graders skarpkantat och V-format mätöverfall. Se figur 4:17. I mätöverfallet registrerades vattennivån med en mekanisk pegel. För att kunna räkna om vattennivån till flöden gjordes kalibreringsmätningar. Härvid framtoogs ett samband som möjliggjorde



en direkt överföring av nivåregistreringar till motsvarande Avrinningsflöden.

Vattennivån registrerades på två sätt. Dels genom mekanisk pegel av typen SMHI och dels genom ultraljudmätare av typen SEMIC. Mätvärdena lagrades automatisk i datalogger. Avsikten med avrinnings- och nederbörds mätningarna var att kunna ta fram avrinningshydrografer för studier av enhetsöverbyggnaden fördröjande och magasinerande effekt samt att använda dessa data för kalibrering av en datormodell för avrinningsberäkningar vid en enhetsöverbyggnad.

#### 4.4 Kommentarer

Körytorna med dränerande asfaltbetong kom att trafikeras hårt av byggtrafik med tunga lastbilar och mobilkranar. Se figur 4:18 och 4:19. Detta medförde att den oskyddade ytan utsattes för tung belastning under cirka ett års tid. Under byggnadsarbetena användes också körytorna för uppställning av byggmaskiner och lagring av byggmaterial. Se figur 4:20 och 4:21.

Ytorna utsattes på så vis för samma nedsmutsning och belastning som en vanlig köryta skulle ha gjorts. Det är däremot mer ovanligt att man anlägger provisoriska byggator med färdigt slitlager utan man nöjer sig oftast med enbart grusbärlager eller grusslitlager som tas bort efter byggnadsarbetena är avslutade. Figur 4:22 visar körytorna C1 och C2 vid normala förhållande under byggtiden. På ytorna spreds också salt för att binda damm. Detta ledde till att dessa ytor blev kraftigt igensatta. Se figur 4:23. När uppställningsytorna med SF-sten skulle utföras spreds grus över stenyterna som transporterades till den dränerande asfaltbetongen och gjorde denna helt tät. Se figur 4:24.

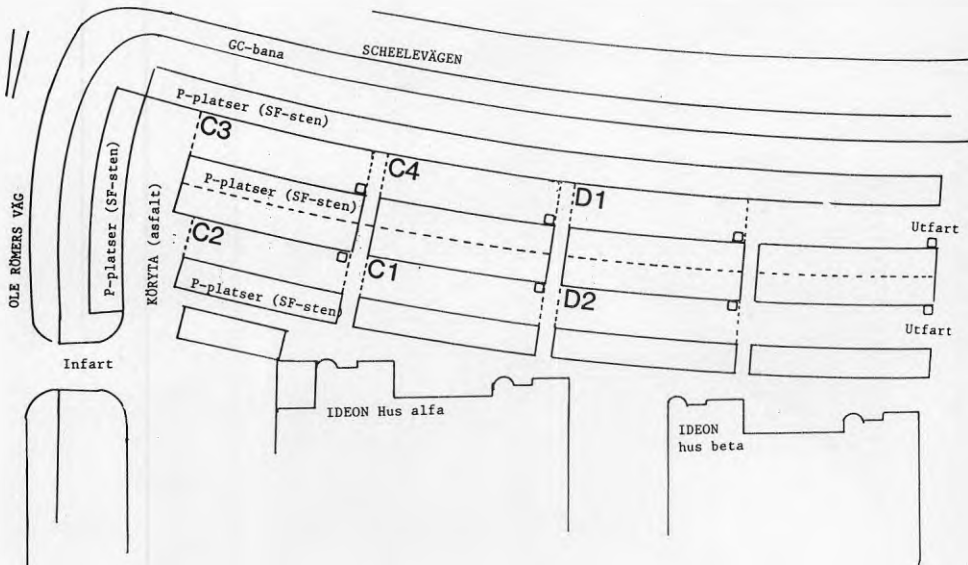
När byggnadsarbetena var avslutade och yta C1 och C2 ombyggda gjordes en avstängning av körytorna för att förhindra byggtrafik att köra på dessa. Avsikten var att undvika extrem nedsmutsning och att kunna följa körytornas igensättning under vanliga förhållanden, som parkeringsplats med personbilstrafik. Dessa avstängningar förhindrade dock inte all byggtrafik. Ytorna fick därför initialt en hög nedsmutsning. Detta framgår också av figur 4:1 som visar körspår på den färdigbyggda parkeringsplatsen.

I figur 4:25 a-b visas parkeringsplatsen vid ett regntillfälle. Som framgår av bilden rinner ytvatten från intilliggande täta asfalt/stenytor in på körytorna med enhetsöverbyggnad och infiltrerar i dessa. Här framgår också att den största nedsmutsningen har skett vid infarten till parkeringsplatsen.





Figur 4:1 Vy över testyta C1-C4 inom forskarbyn Ideon i Lund.



Figur 4:2 Plan över testyta C1-C4 samt referensyta D1 inom forskarbyn Ideon, Lund.



**Figur 4:3** Terrassyta vid anläggandet av testytorna C1-C4 efter uppfyllnad.



**Figur 4:4** Utrullning av fiberduk på testyta C1-C4.



**Figur 4:5** Sammanblandning av makadam till bärlager av tre olika fraktioner på platsen.



**Figur 4:6** Påförande av makadam över mättrör.



Figur 4:7a Omlastning av asfaltmassa till traktorlastare



Figur 4:7b Tipping av massa i tråg vid omlastning med hjälp av traktor.





**Figur 4:8** Direkt tippning av massa från lastbilen till utläggaren.



**Figur 4:9** Upprivning av beläggning (HABD) på yta C1.

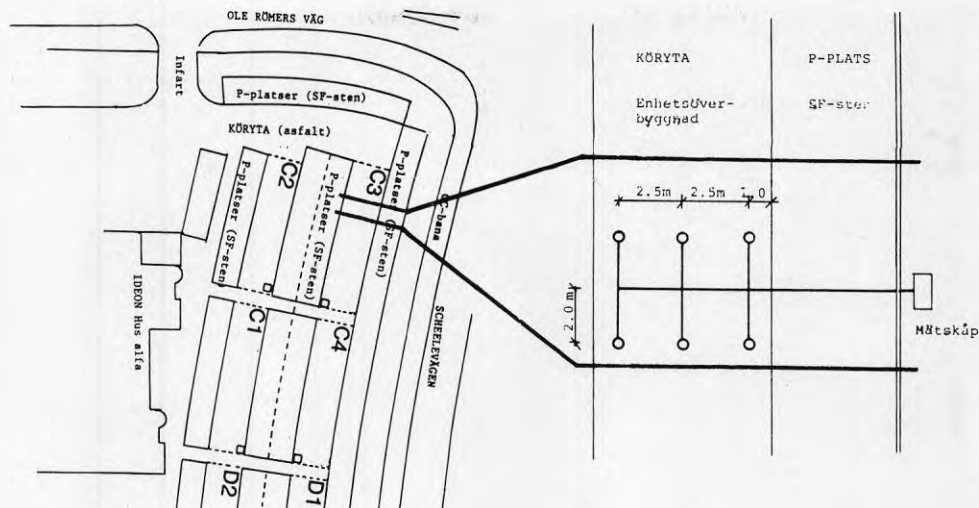




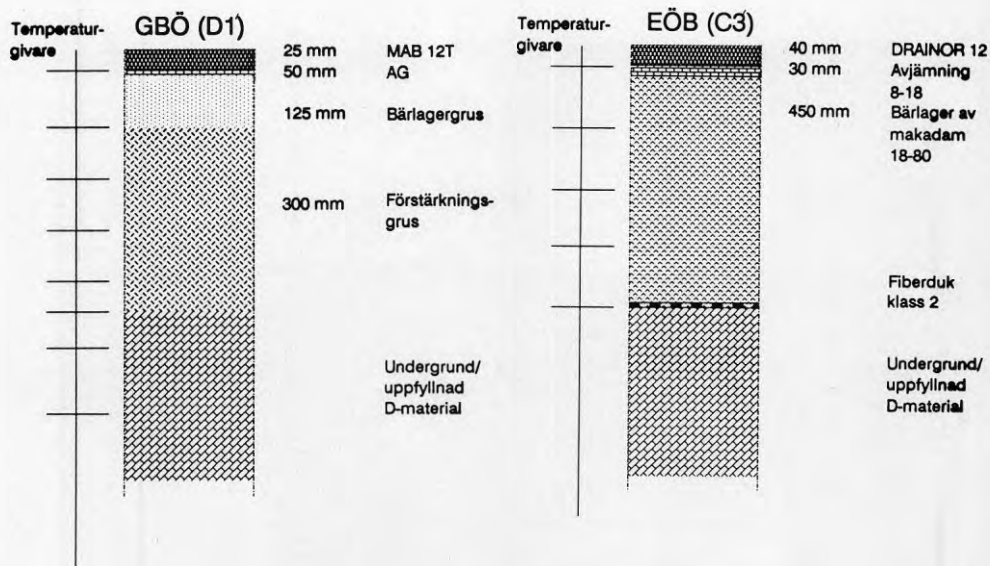
**Figur 4:10** Justering av makadambärlager med asfaltutläggare.



**Figur 4:11** Justerade kanter på ytorna C3 och C4 mot intilliggande betongstensbeläggning.



Figur 4:12 Schematisk bild av placeringen i plan av mätstationer för temperaturregistrering i yta C3.



Figur 4:13 Vertikal placering av termoelement för de sex mätstationerna i yta C3 och D1.



**Figur 4:14** Utplacering av mätstationer för temperaturmätning efter uppgrävning av makadambärlagret.



**Figur 4:15** Dräneringsslang för provtagning av vattenkvalitet.



**Figur 4:16** Mätöverfall och dräneringsslangar med provtagningsflaskor i yta C3.

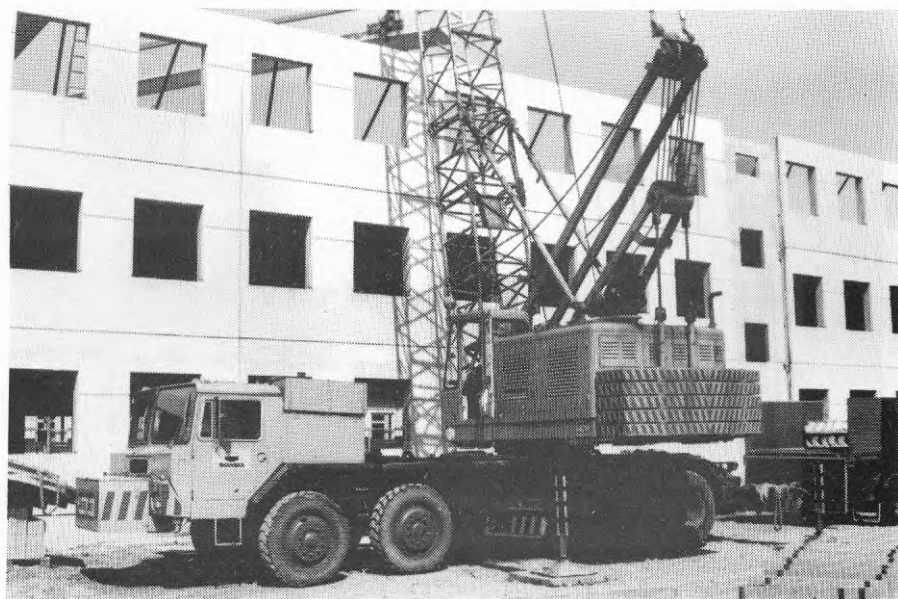


**Figur 4:17** Markvattenrör av galvaniserade stålror.





**Figur 4:18** Belastning på yta C1 med tung lastbil.



**Figur 4:19** Belastning med mobil lyftkran på yta C1.





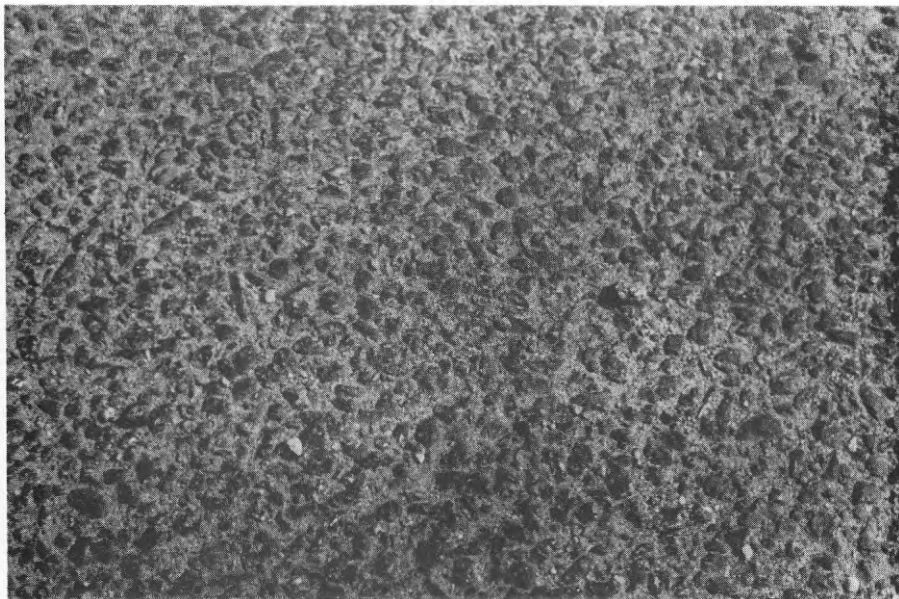
Figur 4:20 Lagring av byggmaterial på testyta C3 och C4.



Figur 4:21 Cementblandare på yta C1.



**Figur 4:22** Testyta C1 och C2 under byggnadstiden.



**Figur 4:23** Igensatt beläggning av dränerade asfaltbetong (HABD) efter cirka ett års användande. Testyta C1 inom Ideon, Lund.



**Figur 4:24** Försök med infiltration på yta C3 i samband med läggande av SF-sten på intilliggande uppställningsytor



**Figur 4:25a** Testyta C2 under ett regntillfälle.



**Figur 4.25b** Köryta med tät asfalt vid samma regntillfälle som i figur 4.25a.

## 5 TESTYTA I OLE RÖMERS VÄG

### 5.1 UTFORMNING

Intill Lunds tekniska högskola ligger forskarbyn Ideon som började anläggas 1983. På en av infartsgatorna till området, Ole Römers väg, erbjöd sig Lunds kommun att anlägga en provsträcka med enhetsöverbyggnad. Gatan har byggts ut i etapper och är cirka 300 m lång varav enhetsöverbyggnad har utförts på cirka 100 m. En referenssträcka med vanlig grusbitumen överbyggnad valdes på den andra halvan av gatan. Under hela projektiden har referenssträckan saknat slitlager och byggtrafiken har kört direkt på ett AG-lager. Detta har medfört att referensytan ej har kunnat användas som avsetts inom projektet.

Trafikbelastningen är 1200 fordon/AMD varav den tunga trafiken utgör cirka 22%. Gatan öppnades för trafik i oktober 1985. De första två åren gick all byggtrafik till nybyggnadsområdet på gatan som därmed utsattes för stora påfrestningar. Byggtrafiken upphörde i slutet av 1987. Gatan belastas nu med buss- trafik och transporter till forskarbyn.

Gatan var projekterad av Gatukontoret med ett normalt utförande och tät beläggning. Detta innebar att avvattningen och tvärfallet på ytan var anpassat för normal avvattning. På sträckan med enhetsöverbyggnad kvarhölls ytans tvärfall med hänsyn till trafiken. Terrasslutningen ändrades till ensidigt tvärfall med en lutning på 1 %. Gatubredden varierar över provsträckan vilket innebär att påverkan från trafiken inte blir markant koncentrerat till hjulspår eftersom ytan ej försetts med körfältsmarkeringar. Provsträckans utformning i plan, profil och tvärsektion framgår av figur 5:1-3. Av profilen framgår att terrassytan avvattnas ner mot sektion 350 (delyta A1), dvs där nedstigningsbrunnen och dräneringsröret är placerade.

Gångbanorna och sidoområdena färdigställdes först efter det att dessa studier var avslutade.

Gatan var projekterad med rännstensbrunnar. Dessa behölls på ytan och anslöts till en separat dagvattenledning.

Undergrunden består av moränlera.

Terrassen avvattnades med en längsgående dräneringsledning  $\phi 100$ mm. Dräneringsledningen anslöts till en nedstigningsbrunn i ena kanten av provsträckan. Ledningen förlades så att den lutade ned mot denna brunn i hela sin längd eftersom provsträckan ligger med en höjdskillnad på 1.2 meter från högsta punkt till lågpunkten.

Enhetsöverbyggnaden skulle utföras med 40 mm DRAINOR12, 0-30 mm avjämning med finmakadam, varierande tjocklek på bärlager/magasin av grovmakadam (300-750 mm) samt med fiberduk som separationsskikt.

Provsträckan med enhetsöverbyggnad delades upp i 10 delsektioner, A1-A5 och B1-B5, som vardera var 10 meter långa och hade



olika tjocklek på makadambärlagret. Syftet var här att kunna bedöma funktionen av enhetsöverbyggnad m h t bärlagrets tjocklek. Övergången mellan varje delsektionen skedde med utspetsning. På så vis blev varje delsektion 8 meter lång, förutom A5 och B5 som var 4 meter långa.

I delsektion A1-A5 användes ett grövre makadammaterial till bär- och avjämningslager, i tjockleken 750 mm (A1), 650 mm - (A2), 550 mm (A3), 450 mm (A4) samt 300 mm (A5). Till bärlager användes grovmakadam i fraktionen 32-120 mm med en jämn kornfördelning samt finmakadam 16-32 mm som avjämning.

I delsektion B1-B5 användes fraktionen 18-75 mm till makadambärlagret i delsektioner med tjocklekarna 700 (B1), 600 (B2), 500 (B3) och 400 (B4) mm. Denna fraktion rekommenderades från RB-konsult vid utförande av enhetsöverbyggnad. Även en delsektion på 4 meter med tjockleken 300 mm (B5) utfördes med denna fraktion. Som avjämning användes här finmakadam 4-25 mm.

## 5.2 UTFÖRANDE

Provsträckan med enhetsöverbyggnad och referenssträckan utfördes av Lunds gatukontor i egen regi och beläggningsarbetena utfördes av ABV.

Byggandet av Ole Römers väg påbörjades i augusti 1984 med grovterrassering, matjordsavtagning samt nedläggning av dag-, spill- och dricksvattenledningar i gatans mitt under hösten 1985. Efter återfyllnad kring ledningarna schaktades terrassytan till ungefärlig nivå. Därefter avbröts arbetena och terrassytan lämnades öppen under den påföljande vintern. Figur 5:4 visar terrassytan efter matjordsavtagning och grovterrassering.

Under vintern 1985/85 låg terrassen öppen och finjusteringen av denna påbörjades först i maj 1985. Då anlades terrassen till önskad nivåer enligt figur 5:3. Terrassen packades med slätvalsvalt och lämnades öppen under sommaren. Se figur 5:5. Moränleran i terrassen torkade under sommaren till en hård torrskorpa varvid kraftig sprickbildning i ytan uppstod. Under denna tid torkade den lerhaltiga undergrunden till en nivå cirka 15 cm under terrassen. I torrskorpan erhöles en kraftig sprickbildning. Se figur 5:6.

I augusti 1985 påbörjades färdigställandet av provsträckan. En fiberduk rullades ut över hela vägsektionen med minst 1 meters överlappning. Se figur 5:7. Duken drogs upp mot intilliggande kanter.

Dräneringsledning  $\phi$  100 mm utlades under terrassnivån längs provsträckan och anslöts till nedstigningsbrunnen.

Makadamen levererades från Ballast-Syd AB i Södra Sandby. De två grovmakadamfraktionerna blandades vid krossverket. Stenmaterialet är kvartsit och okubitserat.

Makadamen till bärlagret påfördes fiberduken med direkttippning från lastbilen vid början av provsträckan. Makadamen fördes därefter ut med hjälp av traktor över hela provsträckan. Se figur 5:8 och 5.9.

Bärlagret packades med 10-tons slätvalsvält och cirka 3-5 överfarter. På fotot i figur 5:10 visas packning av makadambärlagret (18-70 mm).

Ett tunt avjämningslager fördes ut över grovmakadamen med hjullastaren med tippning av skopan och packades. När avjämningslagret var utfört stängdes hela provsträckan av med "betonggrisar" för att förhindra trafikering. Ytan stod därefter öppen i cirka 8 veckor innan slitlagret utlades. Trots avstängningen användes provsträckan som köryta av byggfordon. Detta medförde att det översta lagren av makadam och avjämningslager skadades. När beläggningen skulle utläggas ansåg därför entreprenören det nödvändigt att påföra ett nytt avjämningslager för att justera ytan och spara på asfalten. Ett nytt avjämningslager påfördes därför. Fraktionen 8-24 mm valdes och påfördes med asfaltläggare. Se figur 5:11. Därefter packades detta lager med slätvalsvält. Se figur 5:12.

Provsträckan belades med 80 kg/m<sup>2</sup> DRAINOR12 i slutet av september 1985. Asfaltmassan innehöll vidhäftningsmedel, amin, vilket skapade en obehaglig rök kring själva asfaltutläggaren. Utläggningen skedde på traditionellt sätt med direkt tippning av asfalt från lastbil till asfaltläggarens tråg. Mindre spår bildades i avjämningslagret av asfaltläggarens hjul. Vältningen fördröjdes vid flera tillfällen så att asfaltmassan avsvalnade på lastbil innan den lades ut. Den snabba avkylningen samt i viss mån aminröken gjorde att massan upplevdes svårbehandlad av utläggarna. Detta var också första gången de arbetade med denna typ av asfaltbetong.

## 5.21 Kontroll av material

### Kontroll av beläggningen

Prov på den dränerande beläggningen uttogs vid två tillfällen, vid utläggandet enligt metodbeskrivning MBB-17 på massan samt genom borrhov på slitlagret. Provställena var samma vid de båda tillfällena, i sektion 385-400 i västergående körfält. Beläggningsproverna analyserades vid avdelningen vägbyggnads laboratorium.

Beläggningsarbetena påbörjades i sektion 440 i det körfält där proverna uttogs. På denna sida mellan sektionerna 380-440 uppträdde skador på beläggningen vilka redovisas i avsnitt 7.61.

Sammansättningen av stenaggregat stämde väl överens med arbetsrecept. Hålrums halten uppmättes till 20-23 volymsprocent vilket är relativt högt. Normalt anges hålrums halten för dränerande asfaltbetong i intervallet 15-24 volymsprocent. Bindemedelshalten på massaproverna låg i medeltal på 4.7 viktprocent med standardavvikelsen 0.4 viktprocent. För ett av proven erhöles ett lågt värde, 3.9 viktprocent. Den uppmätta bindemedelshalten är klart lägre än vad som angivits i arbets-

receptet och kan vara en förklaring till problemen med sönderfallande beläggningen i ovan angivna sektioner.

Tjockleken på beläggningen varierar längs sträckan och längs med tvärsektionen. Tjockleken uppmättes dels på uttagna borrhövar och mättes direkt på ytan vid punkter där beläggningen gått sönder och potthål bildats. Som tjockast var beläggningen 62 mm och som lägst 22 mm med medelvärdet 33 mm för 11 mät-punkter. Se figur 5:13-14.

#### Kontroll av avjämningslager

Vid uppmätningen av beläggningstjockleken mättes även tjockleken på det mellan slitlagret och makadambärlagret liggande avjämningslager. Vid mätningen grävdes detta lager bort för hand tills det grövre makadambärlagret nåddes. På det urgrävda materialet gjordes siktanalys. Materialet för sektion 390-440 låg i fraktion 12-20 mm och för sektion 350-390 i fraktion 12-30 mm.

Tjockleken varierade kraftigt över hela ytan och var som lägst 0 mm och som tjockast 109 mm. För sektionerna 350-380 var avjämningslagret något jämnare utfört och varierade mellan 0-58 mm. Se figur 5:13-14.

#### Kontroll av överbyggnadstjocklek på Ole Römers väg

Avsikten med testytorna på Ole Römers väg var att erhålla en sträcka med samma utförande på överbyggnaden men med olika tjocklek på makadambärlagret. För att kontrollera att avsedd tjocklek erhållits avvägdes dels terrassytan strax innan fiberduken rullades ut. Underlaget var då uttorkat och stabilt. Efter det att beläggningsarbetena var klara avvägdes den överbyggnadens överyta, slitlagret, längs samma tvärsektioner som terrassytan hade avvägts.

Tjockleken på överbyggnaden erhöles då som skillnaden i höjd vid de två mättillfällena. Den avsedda tjockleksvariation har uppnåtts med vissa avvikelser. Tjockleken visas i tabell 5.1 gällande för ett avstånd på 2 meter från vägmitt till höger (H2) respektive vänster (V2) samt vägmitt. Värdena är medelvärden från två tvärsektioner för varje testsektion. Skillnaden i tvärled beror på att vägytans tvärfall och terrassytans tvärfall är olika, mellan 0-3% respektive 1%.

**Tabell 5.1 Tjocklek på delytorna A1-A5 och B1-B5 på Ole Römers väg vid kontrollmätning.**

Sektion	Delyta	VM	V2	H2	Avsedd
		mm	mm	mm	mm
350-359	A1	750	690	710	750
360-369	A2	600	580	540	650
370-379	A3	520	510	430	550
380-389	A4	460	430	360	450
390-399	A5-B5	330	330	290	300
400-409	B4	470	440	440	400
410-419	B3	490	460	520	500
420-429	B2	610	580	620	600
430-439	B1	690	690	690	700

### Mätning av terrassens bärighet

Efter det av terrassen finjusterats på Ole Römers väg togs prov på terrassmaterialet med CBR-metoden (Asphalt Institute, 1978). Denna metod används utomlands vid dimensionering av överbyggnadstjocklek genom att underlagets bärighet bestäms på ostörda prover. I sektion 365 och sektion 374 togs i vardera sektion två CBR-prov genom nedgrävning av provcylindern kring prov. Se figur 5:15. De fyra proverna vattenlagrades i fyra dygn under press varefter de provtrycktes vid avdelning vägbyggnads laboratorium i CBR-press. CBR-värde som erhöles var 2.3 och 2.6 i sektion 365 respektive 3.2 och 4.0 i sektion 374. Om man räknar om medelvärde för dessa fyra prover till en styvhetsmodul på terrassen enligt AASHTO erhålles cirka 30 MPa vilket är normalt för denna typ av moränlera i fuktigt tillstånd.

### 5.3 INSTRUMENTERING

Ole Römers väg instrumenterades efter samma principer som parkeringsytorna i IDEON. Här mättes inte överbyggnadstemperaturer.

En fördjupning grävdes i sektion 355 för mätning av fiberdukens vattengenomsläpplighet. Fördjupning gjordes 30 cm djup och cirka 1 x 1 m<sup>2</sup> stor. I fördjupningen ställdes tre perforerade mätrör. Vid sidan av gropen ställdes ytterligare tre perforerade mätrör på terrassytan. Dräneringsslangar drogs till en mätbrunn belägen i gångbanan sektion 340. Till mätbrunnen anslöts också dräneringsledningen. I brunnen placerades ett skarpkantat mätöverfall, typ Tompson. Vattennivån i brunnen registrerades med hjälp av pegel av typen SMHI.

En platta nedsattes i varje provsektion för att möjliggöra mätningar av terrassens nivå och kunna registrera eventuella sättningar. Ett rör sattes över plattan för att kunna göra mätningar av terrassen från ett hål i beläggningen. Dessa sättningsrör skadades dock under utförandet och kunde ej användas.

På asfaltbeläggningen markerades varje längdmeter i vägkanterna respektive vägmitt med spik så att man kunde göra upprepade ytavvägningar med hög noggrannhet. I direkt anslutning till provsträckan fanns 5 fixpunkter som användes vid höjdbestämningen.

### 5.4 KOMMENTARER

När provsträckan på Ole Römers väg färdigställdes hölls en högtidlig invigning. Vid detta tillfälle visades konstruktionens kapacitet. Från en grävlastare tippades en vattenfylld skopa över den dränerande asfalten och inom 10 sekunder hade allt vatten försvunnit ned i konstruktionen. Se bildserien i figur 5:16-18. På fotot i figur 5:19 visas storleken på nederbörd motsvarande ett ordentligt åskregn.

Skador uppträdde på provsträckan med enhetsöverbyggnad direkt efter öppnandet. Se vidare om detta i kapitel 7.61.

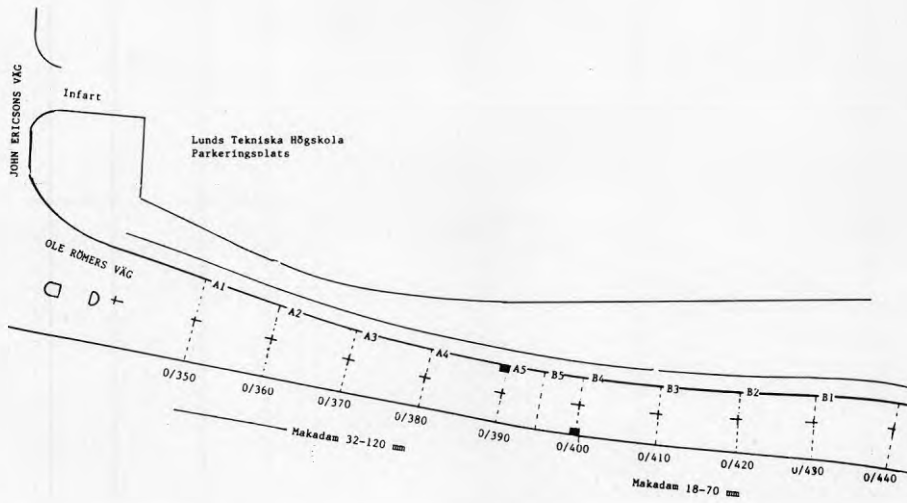
Skadorna lagades vid flera tillfällen. Fogen mellan beläggningens dragen i mitten klistrades med bitumenlösning för att förhindra att beläggningen föll samman. Samtidigt med foglagningen lappades yta A5 och B5 samt delar av B1-B4. Se figur 5:20. Sektion 340-440 omlades delvis med 40 HABD8 för att förhindra ytterligare sprickbildning och potthålsbildning.

Undergrundens infiltrationskapacitet blev kraftigt nedsatt och konstaterades vara helt tät vid försöksmätningar efter packningen med slätvalsvalt. Detta inverkar på magasineringen av nedträngande vatten så att allt dagvatten infiltrerar mot sidorna av gatan eller i dräneringsledningen eller rinner längs terrassbotten mot provsträckans lågpunkt i sektion 345.

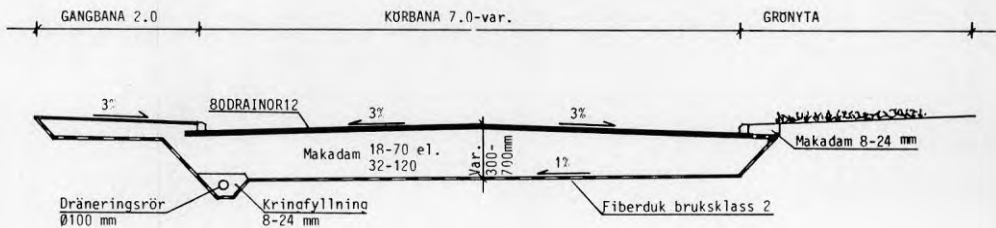
Provsträckan med enhetsöverbyggnad kom att utföras med ett större makadammagasin än som var avsett. Anslutningen i provsträckans lågpunkt mot den gamla täta överbyggnaden skulle ha utförts i sektion 350 där också en uppsamlingsbrunn för infallande dagvatten var utplacerad. Vid utförandet kom denna anslutning att ske i sektion 340 istället. På så sätt skapades ett extra makadammagasin som inte avvattades mot brunnen och vars vatteninnehåll inte kunde registreras. Detta magasin har uppskattats till cirka 30 m<sup>3</sup> makadam.

Den färdiga provsträckans funktion under snösmältning visas i figur 5:21.

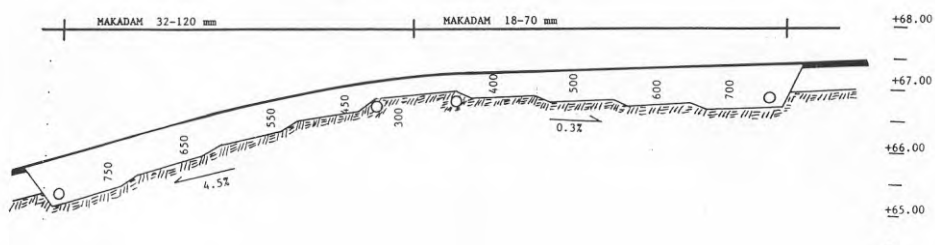




**Figur 5:1** Situationsplan över testytan på Ole Römers väg i Lund.



**Figur 5:2** Tvärsektion genom provsträcka med enhetsöverbyggnad på Ole Römers väg i Lund.



**Figur 5:3** Profil över provsträcka med enhetsöverbyggnad på Ole Römers väg i Lund.



**Figur 5:4** Terrassen på Ole Römers väg innan finterrasseringsring.



**Figur 5:5** Packning av terrassen efter finterrassering.



**Figur 5:6** Sprickor i terrassen efter att ha torkat cirka 3 månader.



**Figur 5:7** Utrullad fiberduk på Ole Römers väg.



**Figur 5:8** Ändtippning av makadam från lastbil på Ole Römers väg.



**Figur 5:9** Makadam till bärlager förs ut med traktor på Ole Römers väg.



**Figur 5:10** Packning av makadamfraktion 18-70 mm med slätvals-vält på Ole Römers väg.

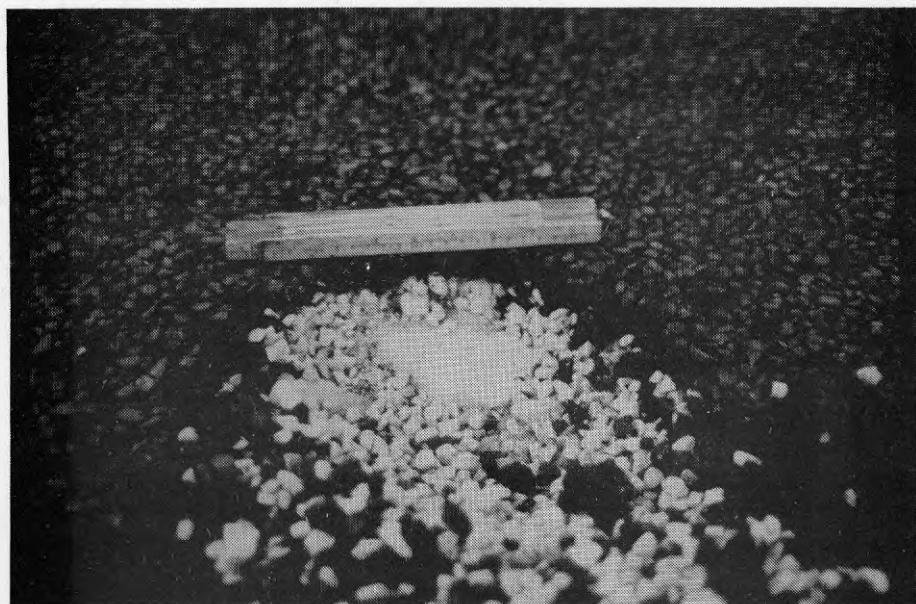




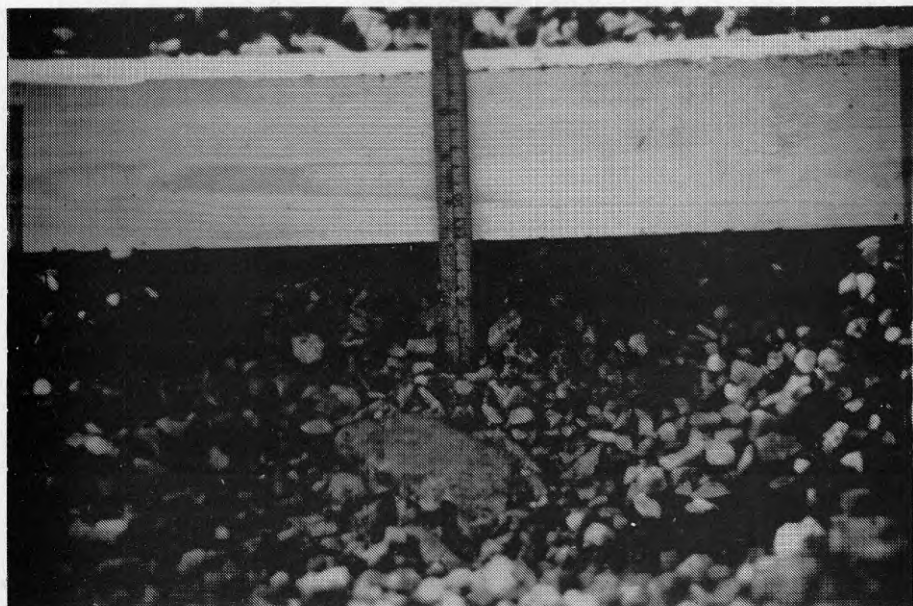
**Figur 5:11** Justering av avjämningslager med hjälp av asfaltutläggare.



**Figur 5:12** Packning av justerat avjämningslager.



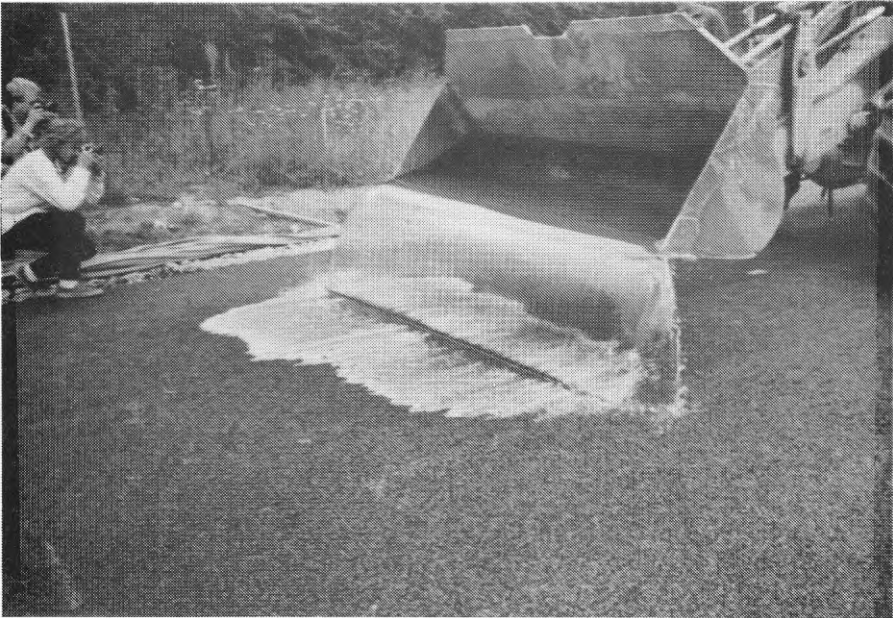
**Figur 5:13** Tjocklek på beläggning och avjämning vid delyta A4.



**Figur 5:14** Tjocklek på beläggning och avjämning vid delyta B3



**Figur 5:15** Ostörd provtagning av provkropp för CBR-mätning på Ole Römers väg.



**Figur 5:16** Illustration av enhetsöverbyggnadens dräneringsförmåga på Ole Römers väg. Efter 5 sekunder.



**Figur 5:17** Illustration av enhetsöverbyggnadens dräneringsförmåga på Ole Römers väg. Efter 10 sekunder.

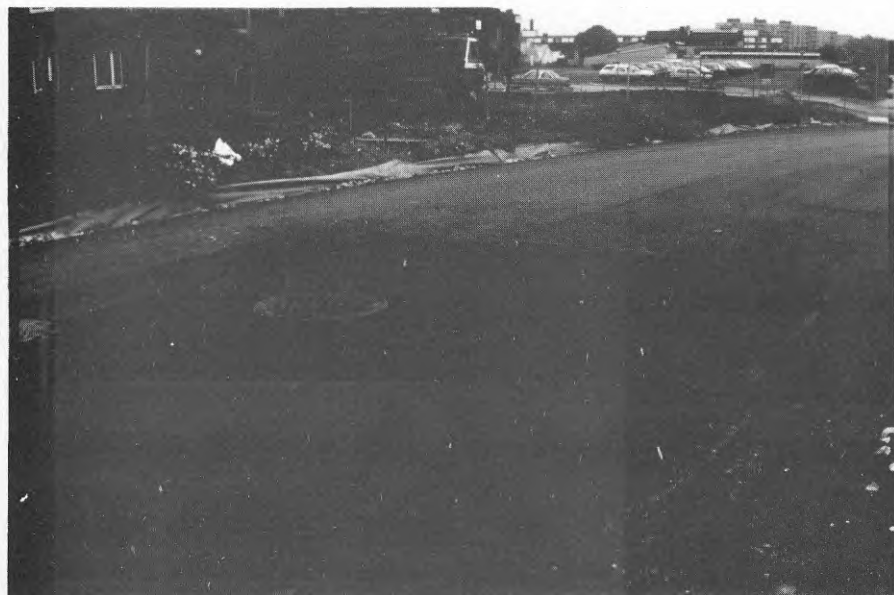


**Figur 5:18** Illustration av enhetsöverbyggnadens dräneringsförmåga på Ole Römers väg. Efter 15 sekunder.





**Figur 5:19**  
Simulering av åskregn  
på Ole Römers väg.



**Figur 5:20** Lappad yta på provsträckan med enhetsöverbyggnad på Ole Römers väg.





**Figur 5:21** Provssträckan med enhetsöverbyggnad på Ole Römers väg under snösmältning.

## 6 TESTYTA I SUNDSVALL

### 6.1 UTFORMNING

En tredje testyta med en parkeringsplats på tjälfarlig grund valdes för att studera funktionen av enhetsöverbyggnad under kallt klimat och med tjälfarligt material i terrassen. För detta ändamål gavs möjlighet av det kommunala bostadsbolaget, AB Sundsvallsbyggen, i Sundsvall att instrumentera en av parkeringsplats samt att ändra utförandet på delar av parkeringsplatsen.

Bostadsområdet Finsta, som är beläget nordväst om Sundsvall, är byggt i slutet av 60-talet och har under åren 1986-87 byggts om. Markombyggnaden projekterades av Riksbyggen-konsult i Sundsvall med utförande av alla hårdgjorda ytor med enhetsöverbyggnad. Detta innebar att den gamla grusöverbyggnaden togs bort och en helt ny överbyggnad påfördes. Befintliga parkeringsytor, körvägar och gångbanor var till stora delar helt nedbrutna som följd av tjälprocesser. Se figur 6:1.

Enhetsöverbyggnaden, E1-E4, som anlades i området har projekterats med en överbyggnad enligt följande:

1. 40 mm dränerande asfaltbetong, 80 kg/m<sup>2</sup> DRAINOR12,
2. 20 mm avjämning med finmakadam, 8-16 mm,
3. 430 mm bärlager av grovmakadam, 18-65 mm
4. Separationsskikt av fiberduk, 136 g/m<sup>2</sup>

Total ombyggd yta med enhetsöverbyggnad inom bostadsområdet är cirka 11 000 m<sup>2</sup>. Testytan utvaldes som en av områdets 4 parkeringsytor omfattande cirka 8 100 m<sup>2</sup>. Den färdiga testytan visas i figur 6:2.

På delar av testytan ändrades sammansättningen av enhetsöverbyggnaden. Delyta E1 utfördes som 490 mm enhetsöverbyggnad enligt ovan. Yta F1, se figur 6:3, utfördes som en referensyta med konventionell grus-bitumenöverbyggnad enligt Mark-AMA, 590 mm. Yta E2, se figur 6:3, utfördes delvis med enhetsöverbyggnad men med ett isoleringslager av cellplast utlagt på grus för att förhindra tjälnedträngning. Den fjärde ytan, E3, utfördes med enhetsöverbyggnad och med makadambärlagret utökat till 930 mm. Syftet var här att öka avståndet från överytan ner till det tjälfarliga materialet för att förhindra tjälaktiviteter. I samma syfte utfördes yta E5, se figur 6:3, med den skillnaden att det tjälfarliga materialet i terrassen ersattes med icke-tjälfarligt material cirka 500 mm under terrassen.

Placeringen av delytorna E1-E4 och F1 framgår av situationsplanen i figur 6:4. Terrassytan avvattnades med en långsgående dräneringsrör i ytans ena långkant.

### 6.2 UTFÖRANDE

Markombyggnaden utfördes av entreprenören, Hallström&Nisses, under 1985. Beläggning och plattstensarbeten utfördes av SKANSKA i Sundsvall. Schakt- och överbyggnadsarbetena utfördes under månaderna maj till oktober och asfaltbeläggningen i början av oktober.

Den befintliga överbyggnaden på testytan grävdes helt bort med bandgående grävmaskin (H12B) till en nivå under den nya terrassen. Massorna transporterades med dumpers (DR860) till en tipp i området cirka 200 meter från testytan. På den urschaktade terrassen upptäcktes områden med sämre material som grävdes ur och återfylldes med annat material. Ett antal större stenar som syntes genom terrassen togs bort. Terrassen skadades grovt under detta urgrävningsarbete av arbetsmaskinerna. Under schaktningsarbetena var terrassen blöt och man fick vänta några dagar tills den delvis hade torkat upp innan terrasseringen avslutades. Terrassen var mycket ojämn och avjämnades inte innan fiberduken påfördes.

Makadambärlagret levererades från Åkergrus i Sundsvall och ändtippades på den utlagda fiberduken och fördes till att börja med ut med bandgående frontlastare (BM 4200). Entreprenören angav svårigheter att lägga ut makadamen och den bandgående frontlastaren byttes ut mot en mindre hjullastare. Arbetet med detta pågick ryckvis under hela juli månad.

I och med att markytorna användes av boende och servicefordon under ombyggnadstiden trafikerades makadambärlagret. Detta resulterade till omlagringar i bärlagrets övre del eftersom makadamen inte var stabil.

Makadambärlagret justerades innan beläggningen påfördes med avjämning, 8-16 mm, med väghyvel och komprimerades med vibrerande vält. Entreprenören uppgav att åtgången på flismaterialet var stort samt att det var omöjligt att avflisa med den fraktionen till önskad tjocklek. Den avjämnade ytan blev därför mycket ojämn.

Beläggningsarbetena utfördes med hjulgående asfalträggare (Barbergreene SB31). Väderleken var kylig och blåsigt vid utläggningen. Läggarens hjul och lastbilens skar ner i flismaterialet. Asfaltmassan omlastades därefter med hjullastare från lastbilen och tippades i läggarträget och hjullastaren. Enligt SKANSKA som utförde beläggningen åtgick cirka 25 - 30% mer asfaltmassa än beräknat p g a ojämnt underlag.

Både markentreprenören och beläggningsentreprenören anger att de drabbats av stora fördyringar i förhållande till kalkylerad kostnader. Detta ombyggnadsprojekt var det första som de två entreprenörerna utförde med enhetsöverbyggnad.

## 6.21 Kontroll av material

Prov togs på terrassmaterialet i testytan och på ersättningsmaterialet till yta E5. Proven analyserades vid avd för Geoteknik, LTH. Se tabell 6:1.

Jordmaterialet i undergrunden var överlag av tjälfarlighetsklass II med hög kapillaritet. Detta framgick också av den ytornas utseende innan ombyggnaden med ojämna tjällyftningar och stora hål. I terrassen fanns också större stenblock, cirka 0.5-1 meters diameter.

**Tabell 6.1 Kontroll av undergrund i Finsta**

Provplats	Benämning	1	2	3
E2,terrass	Sandig-grusig-siltig morän	>2.5	C	II
E3,terrass	Sandig-grusig morän	1.25	C	II
E3,urgrävning	Sandig-grusig morän	2.05	C	II
E3-4,återfyllnad	Grusig-sandig morän	0.60	A	I
E3-4,urgrävning	Lerig siltmorän	-	D2	III

/1= kapillaritet (m)

/2= materialgrupp enligt BYA-84

/3= tjälfarlighetsgrupp enligt BYA-84

Efter det att makadambärlagret lagts ut togs två prover för kontroll av dess kornstorlek. Det ena provet, nr 1, togs vid yta E1 och visade på för liten halt material i fraktionen 18-25 mm. För det andra provet som togs vid en annan parkeringsyta var denna halt ännu lägre, endast 14.7 vikt-% mot enligt materialleverantören angivet 51 vikt-%. I tabell 6:2 redovisas kornkurvan för de två proverna. Provmängden var 19.2 respektive 18.2 kg. Materialfraktionen som hade utförts var därför ej lämpligt som makadambärlager för denna typ av överbyggnad samt förklarade också de problem med utförandet som entreprenören hade.

**Tabell 6:2 Kontroll av grovmakadam till bärlager i Finsta, Sundsvall.**

Passerar sikt mm	Prov 1 vikt-%	Prov 2 vikt-%	Föreskrivet
80	100	93.9	100
65	84.8	83.2	95
50	63.6	41.4	69.5
32	29.4	14.7	38.8
20	5.2	3.1	18.4
18	2.0	1.1	15
11.3	0.7	0.5	7
8	0.7	0.5	6
4	0.7	0.5	4
1	0.7	0.5	2

För kontroll av tjocklek på färdig överbyggnad avvägdes terrassytan och färdig beläggning i fem olika sektioner. Den utförda överbyggnaden stämmer med väl med föreskriven tjocklek med mindre avvikelser. Se tabell 6:3.

**Tabell 6:3 Kontroll av överbyggnadstjocklek, mm**

Yta	lägst	högst	medel
E1a	470	0.54	0.51
E1b	520	0.65	0.58
E2	530	0.75	0.64
E3	500	0.51	0.50
E4	1020	1.03	1.02
E5	1060	1.02	1.04

### 6.3 INSTRUMENTERING OCH MÄTNINGAR

Installering av instrumenten och mätningar utfördes av Uno Wohlin, Riksbyggen Konsult i Sundsvall. Placeringen av mätinstrumenten framgår av figur 6:4.

För mätning av dräneringsvatten placerades ett skarpkantat överfall placerades i en rännstensbrunn. Vattennivån i brunnen registrerades med hjälp av en SMHI-pegel. Nederbörden uppmättes på en gata cirka 450 m från själva testytan. Regnmätaren hade diametern 180 mm och var av märket Perfekt.

I testytans fem olika överbyggnader placerades temperaturgivare från en nivå cirka 40 mm under överytan ner till en nivå mellan 550-700 mm under terrassen. Temperaturgivarna placerades ut på nivåer enligt figur 6:3a-b. På ytan med cellplastisolering, E3, placerades givare strax över och under respektive emellan cellplastskivorna. Givarna var av typen koppar-konstantan och avläsningen av mätvärdena gjordes manuellt med hjälp av en digital temperaturmätare av typen Pentronic 80100. Temperaturmätaren har kalibrerats före och efter mätperioden. Utplaceringen av givarna gjordes innan makadamlagret påfördes genom nedslagning av pvc-stativ i terrassen.

För varje delyta på testytan markerades 1-2 punkter med spik för ytavvägning och mätning av tjällyftning. Dessutom markerades 4 tvärsnitt över hela testytan med samma syfte.

### 6.4 KOMMENTARER

Ombyggnaden av hela området genomfördes i flera etapper. På grund av svårigheterna med att trafikera makadamöverbyggnaden innan slitlagret påförts, vilket entreprenören hade utgått ifrån, och oväntade undergrundsförhållande blev projektiden kraftigt förlängd för entreprenören. Beläggningsentreprenören, Skanska, hade motsvarande problem vid asfaltutläggningen. På grund av att man inte kunde köra på avjämningen fick massan omlastas från lastbilen till läggaren med traktor, på motsvarande sätt som prövades i Lund. Testytan med enhetsöverbyggnad blev kraftigt försenad.

Entreprenören har använt de ombyggda ytorna som körvägar vid ombyggnad av närliggande ytor. På så vis har enhetsöverbyggnaden utsatts för byggtrafik och blivit nedsmutsad.

Boende i området använde också de obelagda ytorna som transportvägar och parkering. Likaså körde t ex sopbilar sönder makadamens överyta. Erfarenheterna från detta objekt visar på att man behöver noggrann planering av hur ytorna skall utföras i ombyggnadssammanhang samt att det är viktigt med att rätt bärlager och avjämningsmaterial användes.

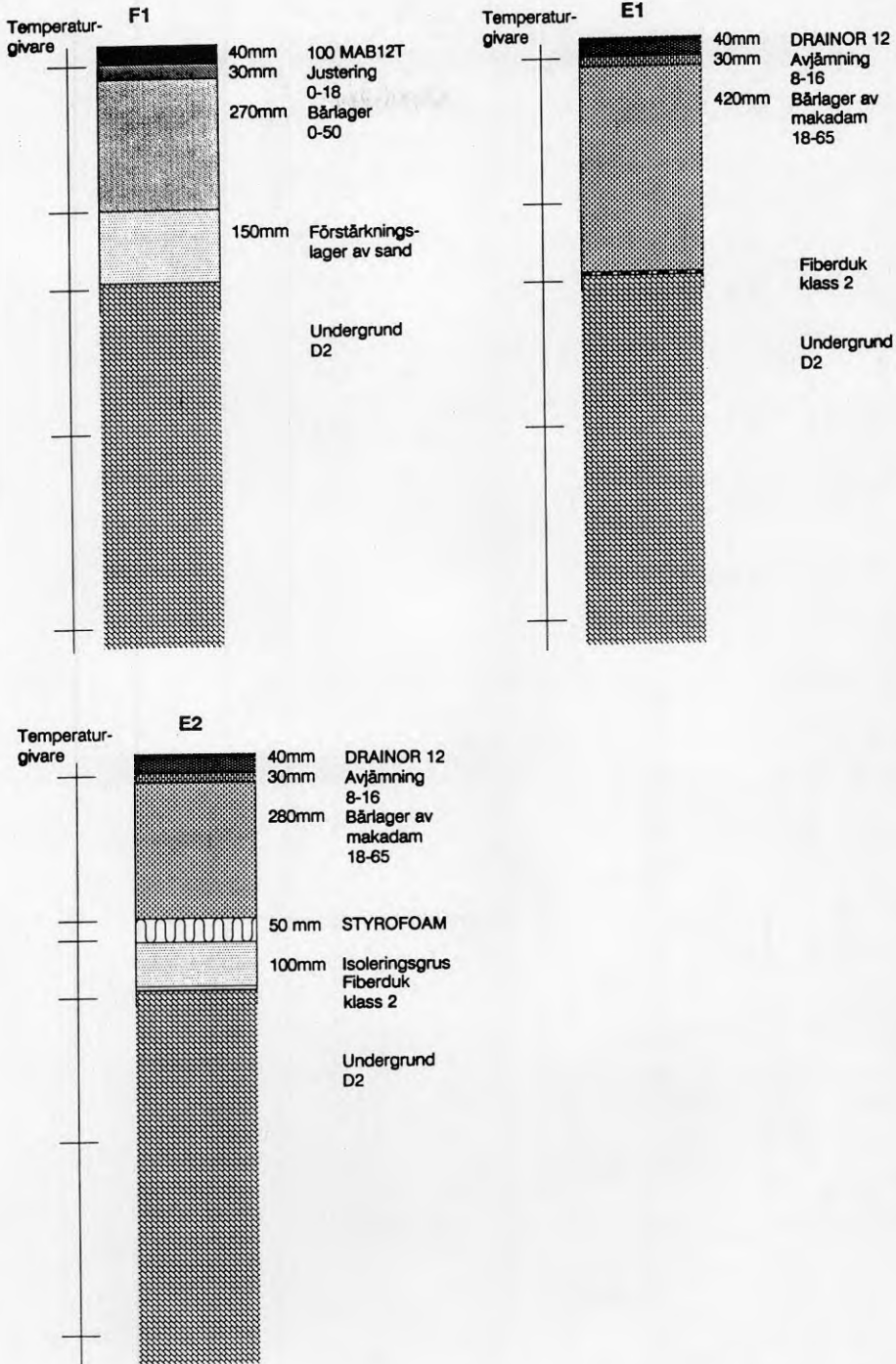




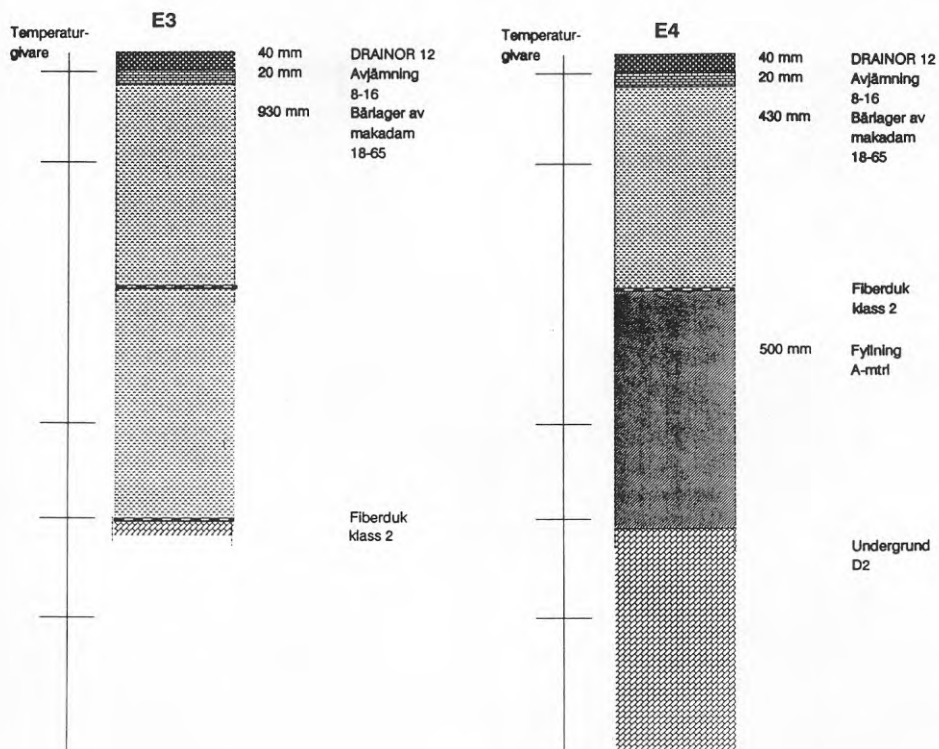
**Figur 6:1** Tjälskadade ytor inom bostadsområdet Finsta, Sundsvall, innan ombyggnad.



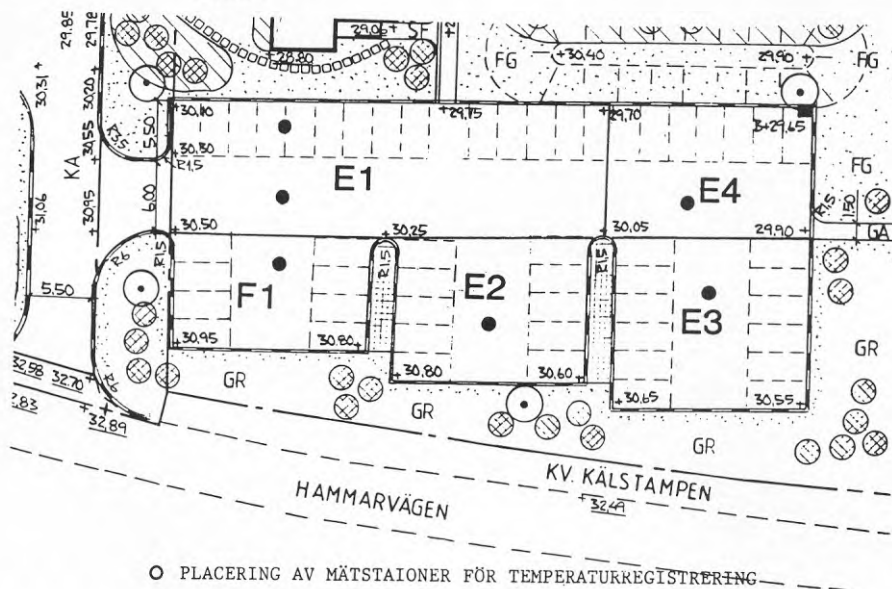
**Figur 6:2** Vy över testyta med enhetsöverbyggnad i området Finsta, Sundsvall.



**Figur 6:3a** Överbyggnader E1, E2 och F1 på testytan i Finsta, Sundsvall samt vertikal placering av temperaturelement.



Figur 6.3b Överbyggnader E3 och E4 på testyta i Finsta, Sundsvall.



Figur 6:4 Situationsplan över testyta i Finsta, Sundsvall.

## 7 RESULTAT

### 7.1 HYDROLOGISKA STUDIER I FÄLT

#### 7.11 Avrinningsstudier

##### 7.111 Flödesmätningar

Mätningar av avrinningen gjordes under 1985-1987 på de fyra delytorna C1-C4 inom parkeringsplatsen vid Ideon, och för hela provsträckan på Ole Römers väg. Dessutom gjordes under kortare period avrinningsmätningar på hela testytan i Sundsvall.

De mest generella dragen för mätningarna var att stora och intensiva regn ger en avrinning som är volymmässigt större än den direkta nederbörden över ytorna med enhetsöverbyggnad.

Liten nederbörd, mindre än 5 mm, ger däremot inget utslag alls på avrinningsmätaren annat än om en nederbördsrik period har förekommit precis innan. Sommarregn tenderar att ge en förhållandevis mindre avrinningsvolym än höst- och vårregn.

Exempel på ett större regn har vi den 20 till 21 oktober 1986 i Lund. Totalt föll 22 mm under 12 timmar med en maximal intensitet på 5.4 mm/h. Detta motsvarar en vattenvolym på 10.3 m<sup>3</sup> över parkeringsytorna vid Ideon och 19.8 m<sup>3</sup> över Ole Römers Väg. Den uppmätta avrinningsvolymen var vid parkeringsytorna 13.4 m<sup>3</sup> (yta C1 och C2) respektive 24.6 m<sup>3</sup> (yta C3 och C4) och vid Ole Römers väg 30.5 m<sup>3</sup>. Av dessa avrann 1.7 m<sup>3</sup>, 2.9 m<sup>3</sup> respektive 1.1 m<sup>3</sup> efter regnets slut. Avrinningshydrograferna för de båda parkeringsytorna redovisas i figur 7.1:1a-b.

Varaktigheterna på avrinningen var 21, 18 respektive 17 timmar. Med hänsyn till den avrunna volymen torde en yta på 608, 1118 respektive 1387 m<sup>2</sup> bidra till avrinningen, dvs 1.3, 2.4 respektive 1.5 gånger så stor yta som de dränerande asfaltytorna. Bidraget till avrinningen vid parkeringsytorna kommer dels från områdena med SF-sten och dels från ett område med tät asfaltbetong norr om ytorna. När det gäller Ole Römers väg kan ett område med tät asfaltbetong öster om provsträckan tänkas bidra till avrinningen.

I tabellerna 7.1:1-4 finns siffervärden för några av de regnhändelser som inträffade under 1985-1987. Maxflödet som uppmättes under alla dessa händelser var för parkeringsytorna vid Ideon 4.1 l/s och för Ole Römers väg 8.0 l/s. Dessa flöden producerades av ett skyfallsliknande regn på 37 mm med en varaktighet på ca 1.5 timmar. Totalt avrann 29 m<sup>3</sup> från den ena halvan av parkeringsplatserna (yta C3 och C4). På de två andra delytorna stannade flödesmätaren under denna tid, varför inga mätuppgifter finns. Från Ole Römers väg avrann 35 m<sup>3</sup>. Detta motsvarar en teoretisk upptagningsyta på 785 m<sup>2</sup> respektive 933 m<sup>2</sup>, vilket är 1.7 respektive 1.05 gånger större än själva ytan med dränerande asfaltbetong.

Studerar vi tabell 7.1:1-3 finner vi att värdena på den teoretiska upptagningsytan varierar kraftigt. Hos parkeringsytorna ligger den mellan 54 och 1500 m<sup>2</sup>, dvs 10% till 300% av verklig asfaltyta. Vid Ole Römers väg varierar det mellan 300 och 1900

m<sup>2</sup>, dvs 30-200% av verklig asfaltyta. Dessutom kan det ibland vara svårt att hitta ett samband mellan de inbördes variationerna hos ytorna. Dock kan man säga att den huvudsakliga anledningen till variationerna är uttorkningen av konstruktionen under sommarperioden och hög fuktighet i denna under vår och höst. Sommaren sammanfaller här med den period när man har lägsta grundvattenstånd och lägsta markfuktighet i angränsande områden. Vattenförlusterna är därför störst under denna period. Vattenståndet i konstruktionen måste dessutom uppnå en viss nivå över fiberduken innan avrinning sker i dräneringsröret. I det fall när dräneringsröret ligger direkt på fiberduken sker avrinning efter det att endast en liten volym vatten tillförts anläggningen.

1987 skiljer sig dock från detta resonemang genom att vara ett av de nederbördsrikaste åren på länge. Avrinningsvolymerna är här högre i förhållande till regnmängderna för 1985 och 1986. Detta beror på att undergrunden nästan alltid varit vattenmättad och att initialförluster till uppblötning av undergrunden minimeras. Dessutom har omgivande mark en hög fuktighet vilket gör att den i högre grad bidrar med avrinnande vatten till dräneringsytorna.

**Tabell 7.1:1** Avrinningsmätningar från testyta C3 och C4 vid Ideon i Lund

Beläggningsytans storlek: 470 m<sup>2</sup> Beläggningsmaterial: HADB 12

DATUM	MAXFLÖDE (l/s)	MEDEL- FLÖDE (l/s)	AVRINNINGS- VOLYM (l)	VARAKTIG- HET AVR. (h)	NEDER- BÖRD (mm)	MAX N.B. INTEN. (mm/h)	YTANS NEDERB. VOLYM (l)	VARAKTIG- HET N.B. (h)	TEOR. UPPTAG- NINGSYTA (m <sup>2</sup> )	AVR. VOL. / N.B. VOLYM (%)
1986										
860423										
-	0.02	0.01	1064	32	4.9	-	2303	-	217	46
860424										
860425	0.10	0.02	1148	20	12.7	-	5969	-	90	19
860513	0.10	0.02	936	13	11.5	-	5405	-	81	17
860914	0.10	0.02	1226	19	8.4*	2.4	3924	11	147	31
861007	0.20	0.02	1294	16	6.5*	3.0	3055	10	199	42
861020										
-	2.00	0.09	13374	21	22.0*	5.4	10340	12	608	129
861021										
861022	0.20	0.02	2236	37	9.8*	3.1	4606	26	228	49
861028										
-	0.20	0.02	4311	67	11.9*	1.9	5593	30	362	77
861029										
861101	0.10	0.01	2655	57	8.1*	2.0	3807	10	328	70
861104	0.02	0.01	286	10	3.5*	1.8	1645	3	82	17
861105	0.25	0.04	5922	38	14.6*	2.9	6862	18	406	86
861108	0.03	0.01	1276	35	6.3*	1.5	2961	24	203	43
861119										
-	0.20	0.02	7317	57	16.1*	1.8	7567	23	454	97
861120										
861204	0.20	0.02	4977	63	8.5*	1.8	3995	11	586	125

\* Nederbördsdata från regnmätare belägen vid testytan. Vid alla andra nederbördsstillfällen är nederbördsdatan hämtad från SMHI:s nederbördsstation i Lund.



**Tabell 7.1:2** Avrinningsmätningar från testyta C1 och C2 vid Ideon i Lund

Beläggningsytans storlek: 470 m<sup>2</sup> Beläggingsmaterial: HABD 12 till sommaren 1986, sedan DRAINOR

DATUM	MAXFLÖDE (l/s)	MEDEL- FLÖDE (l/s)	AVRINNINGS- VOLYM (l)	VARAKTIG- HET AVR. (h)	NEDER- BÖRD (mm)	MAX N.B. INTEN. (mm/h)	YTANS NEDERB. VOLYM (l)	VARAKTIG- HET N.B. (h)	TEOR. UPPTAG- NINGSYTA (m <sup>2</sup> )	AVR.VOL. / N.B. VOLYM (%)	
<u>1985</u>											
850722	0.11	0.04	1476	10	20.8*	5.7	9776	8	92	15	
850903	0.05	0.03	756	8	6.4	-	3008	-	118	25	
850905	-	2.58	0.07	12528	52	26.2	-	12314	-	478	104
850907	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
850911	0.11	0.05	1944	10	4.2*	1.2	1974	10	463	98	
850915	0.04	0.03	540	5	3.3*	1.1	1551	6	164	35	
850916	0.11	0.07	1332	5	2.9*	2.9	1363	1	459	98	
850917	0.66	0.18	8244	13	10.4*	2.8	4888	10	792	167	
851008	0.36	0.12	4320	10	7.2*	2.0	3384	9	600	128	
<u>1986</u>											
860423	0.11	0.08	2000	7	4.9	-	2303	-	408	87	
860424	0.16	0.07	1300	5	12.7	-	5969	-	102	22	
860508	0.05	0.03	864	7	8.5	-	3995	-	102	22	
860510	0.28	0.10	4464	13	7.4	-	3478	-	603	128	
860513	0.68	0.15	8208	15	11.5	-	5405	-	713	152	
860724	4.10	1.01	29124	8	37.1*	25-35	17437	1-1.5	785	167	
860729	1.09	0.30	7488	7	12.8	-	6016	-	585	124	
860731	0.05	0.05	540	3	3.3	-	1551	-	164	35	
860815	0.02	0.02	360	5	6.6	-	3102	-	54	12	
860816	0.36	0.05	540	3	5.1	-	2397	-	106	23	
860827	0.04	0.04	430	3	6.6	-	3102	-	65	14	
860906	0.66	0.18	8532	14	9.7*	4.2	4559	11	880	187	
860907	0.02	0.01	720	21	3.8	-	1786	-	189	40	
860908	0.28	0.17	3672	7	6.7*	4.1	3149	3	548	117	
860914	0.48	0.07	5339	21	8.4*	2.4	3948	11	639	135	
861007	0.48	0.14	3528	8	6.5*	3.0	3055	10	542	115	
861020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	1.40	0.38	24624	18	22.0*	5.4	10340	12	1118	238	
861021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
861022	0.58	0.12	7848	19	9.8*	3.1	4606	26	801	170	
861028	0.48	0.07	9612	37	11.9*	1.9	5593	30	807	172	
861101	0.36	0.09	6156	19	8.1*	2.0	3807	10	760	162	
861105	0.66	0.18	11628	18	14.6*	2.9	6862	18	796	169	
861119	0.48	0.12	3890	10	7.9*	1.7	3713	9	590	105	
861120	0.48	0.11	6340	17	8.2*	1.8	3854	14	773	165	
861204	0.43	0.17	10100	17	8.5*	1.8	3995	11	1183	253	
<u>1987</u>											
870420	2.04	0.36	28512	22	27.7	-	13019	-	1029	219	
870513	0.30	0.17	1872	3	9.1	-	4277	-	206	44	
870604	0.66	0.29	5148	5	6.1	-	2867	-	844	180	
870615	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	0.74	0.20	18900	26	25.6	-	12032	-	738	157	
870616	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
870626	0.42	0.12	10440	25	12.0	-	5640	-	870	185	
870718	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	2.98	0.32	58158	51	43.9*	10.5	20633	26	1325	282	
870719	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
870803	0.74	0.14	2988	6	2.9*	2.2	1363	4	1030	219	
870804	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	0.74	0.22	9468	12	6.0*	1.7	2820	5	1578	336	
870805	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
870806	1.70	0.27	8802	9	7.1*	5.9	3337	5	1240	264	

\* Nederbördsdata från regnmätare belägen vid testytan. Vid alla andra nederbördsstillfällen är nederbördsdaten hämtad från SMHI:s nederbördsstation i Lund.

**Tabell 7.1:3** Avrinningsmätningar från testyta på Ole Römers väg i Lund

Beläggningsytans storlek: 900 m<sup>2</sup> Beläggningsmaterial: DRAINOR

DATUM	MAXFLÖDE (l/s)	MEDEL- FLÖDE (l/s)	AVRINNINGS- VOLYM (l)	VARAKTIG- HET AVR. (h)	NEDER- BÖRD (mm)	MAX N. B. INTEN. (mm/h)	YTANS NEDERB. VOLYM (l)	VARAKTIG- HET N. B. (h)	TEOR. UPPTAG- NINGSYTA (m <sup>2</sup> )	AVR. VOL. / N. B. VOLYM (%)
<u>1986</u>										
860424	1.30	0.30	8514	8	12.7	-	11430	-	670	75
860513	1.05	0.20	5749	8	11.5	-	10350	-	500	56
860724	8.00	1.07	34621	9	37.1*	25-35	33390	1-1.5	933	104
860729	1.30	0.26	7495	8	12.8	-	11520	-	586	65
860906	0.02	0.00	148	17	9.7*	4.2	8730	11	15	2
860908	0.48	0.07	3103	12	6.7*	4.1	6030	3	463	51
861020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	2.50	0.21	30524	17	22.0*	5.4	19800	12	1387	154
861021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
861022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	65
-	0.90	0.04	5691	45	9.8*	3.1	8820	26	581	-
861023	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
861105	1.05	0.23	13018	16	14.6*	2.9	13140	18	892	99
861119	0.70	0.10	5522	16	7.9*	1.7	7110	9	699	78
861120	0.70	0.15	7412	14	8.2*	1.8	7380	14	904	100
861204	0.48	0.07	5605	22	8.5*	1.8	7650	11	659	73
<u>1987</u>										
870513	0.20	0.03	1584	13	9.1	-	4277	-	333	37
870626	0.48	0.06	6062	27	12.0	-	5640	-	967	108
870806	1.30	0.33	7117	6	7.1*	5.9	3337	5	1919	213

\* Nederbördsdata från regnmätare belägen vid testytan. Vid alla andra nederbördstillfällen är nederbördsdatan hämtad från SMHI:s nederbördsstation i Lund.

Lokala variationer av den teoretiska upptagningsytan under året hänför sig till vilken nederbördsmängd som erhållits tiden närmast regntillfället. En längre tid med torrt klimat innan regnhändelsen ger förhållandevis mindre avrinningsvolym än en mer nederbördsrik period. Varaktigheten på avrinningen varierade mellan 3-67 timmar, vilket var mellan 1-35 timmar längre än själva regnet.

En del av de regnhändelser som uppmättes under en kortare avrinningsmätningssperiod i Sundsvall finns angivna i tabell 7.1:4. Genomgående låg alla avrinningsmängderna under till mycket under de nederbördsvolymerna som föll över testytan. Dessa värden skiljer sig därför lite mot de värden som uppmättes i Lund. Man kan se att de förhållandevis högsta avrinningsmängderna uppnåddes precis efter snösmältningen och under hösten. Detta kan förklaras med att jorden är vattenmättad och man får inte samma storlek på avrinningsförlusterna som under de torrare sommarmånaderna. Värdena på upptagningsytan varierar mellan 84 - 736 m<sup>2</sup> vilket tyder på stora variationer i avbördade vattenmängder.

**Tabell 7.1:4** Avrinningsmätningar från testyta i SundsvallBeläggningsytans storlek: 1000 m<sup>2</sup> Beläggningsmaterial: DRAINOR

DATUM	MAXFLÖDE (l/s)	MEDEL- FLÖDE (l/s)	AVRINNINGS- VOLYM (l)	VARAKTIG- HET AVR. (h)	NEDER- BÖRD (mm)	MAX N.B. INTEN. (mm/h)	YTANS NEDERB. VOLYM (l)	VARAKTIG- HET N.B. (h)	TEOR. UPPTAG- NINGSYTA (m <sup>2</sup> )	AVR. VOL. / N.B. VOLYM (%)
<u>1986</u>										
860424	0.20	0.04	3314	23	4.5	-	4500	-	736	74
860426	0.64	0.08	5252	18	8.5	-	8500	-	618	62
860429	0.16	0.04	3910	31	21.0	-	21000	-	186	19
860903										
-	0.20	0.02	1676	32	20.0	-	20000	-	84	8
860904										
860910										
-	0.26	0.01	3071	61	29.0	-	29000	-	106	11
860912										
860915	0.11	0.02	3521	46	20.0	-	20000	-	176	18
861006										
-	0.11	0.01	1953	45	9.0	-	9000	-	217	22
861007										

Vissa av dessa regn och avrinningshändelser har använts för att kalibrera en framtagen datormodell över avrinningen vid en enhetsöverbyggnad.

### 7.112 Vattenkvalitet och föroreningstransport

Den stora frågan vad gäller användandet av infiltrationsteknik för dagvattenavledning är om dess vattenkvalitativa fördelar överträffar de potentiella nackdelarna. Det står idag helt klart att tekniken minskar dagvatten- och bräddvattenutsläppen högst väsentligt. Några alarmerande tecken till nedsmutsning av grundvattnet har ej kunnat påvisats i tidigare studier av LOD-anläggningar (se t ex Malmquist och Hård, 1981). Dessa studier är dock genomförda vid relativt små anläggningar och därmed kan eventuell nedsmutsning vara svår att konstatera beroende på låga koncentrationer, osäker spridningsbild och för korta studietider.

Av säkerhetsskäl bör dock infiltration ej ske i anslutning till dricksvattenkälla. Detta trots att föreliggande undersökning visar att kraftig föroreningsreduktion kan uppnås i konstruktionen. De säkerhetsavstånd till dricksvatten källa som rekommenderas för anläggande av perkolationsmagasin bör anses som ett minimum för öppna överbyggnader. I USA används ett skyddsavstånd på minst 30 m från dricksvatten källa (WRA, 1984).

Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) ger ut kartmaterial beskrivande känslighet för infiltration av föroreningar. Kartmaterialet finns dock ej ännu tillgängligt för alla län. Dessutom är det den lokala situationen som måste avgör om infiltration är lämplig eller ej.

Kvalitetsmätningar har gjorts på dräneringsvattnet avrinnade från dräneringsröret i konstruktionerna i Ideon. Dräneringsvatten har också samlats upp från testytan i Sundsvall samt

från äldre ytor vid Nödinge och Bohus. Mätningar har gjorts både under snösmältning och vid avrinning under sommaren. Dessutom gjordes ett konstgjort snösmältningstest. Det senare redovisas i ett separat avsnitt (7.122).

#### 7.1121 Testytor i Lund

Prov på dräneringsvattnet togs vid två tillfällen under hösten efter att ytorna varit i bruk under drygt ett år. Skillnaden i föroreningskoncentration i dräneringsvattnet mellan ytorna var mycket liten trots att yta nr C1 och C2 visuellt uppvisade ett smutsigare vatten. Medelvärden på koncentration från ytorna nr C1 och C2 och nr C3 och C4 för de båda provtagningstillfällena redovisas i tabell 7.1:5.

Under recessionsdelen av avrinningen orsakat av ett skyfallsliknande regn den 24 juli 1986 när ca 30 mm nederbörd föll under drygt en timme, togs prov på dräneringsvattnet från samtliga testytor i Lund.

**Tabell 7.1:5** Föroreningskoncentration i dräneringsvatten från ytorna nr C1 och C2 samt nr C3 och C4 vid två provtagningstillfällen i Ideon. Proverna togs efter ett års användning av ytorna. Enhet mg/l.

<u>Variabel</u>	<u>Värde</u>
pH	8
Susp	156
P <sub>tot</sub>	0.02
K <sub>J</sub> -N	0.11
NO <sub>2</sub> -N	0.03
Cu	0.2
Zn	0.13
Pb	0.04

Medelkoncentrationen av bly uppmättes vid tillfället till 0.04 mg/l på yta nr C1 och C2 och 0.08 mg/l på yta nr C3 och C4. På Ole Römers väg uppmättes koncentrationen 0.05 mg/l. Skillnaderna mellan proverna under tillfället var mycket små på samtliga ställen. Några tecken till kraftig utspolning av föroreningar under händelsen kunde ej konstateras. Detta trots att flödet 4 l/s uppmättes från anläggningen vilket är det högsta uppmätta under hela mätperioden.

Både under sommarperioden och vinterperioden kunde relativt höga kvävehalter konstateras i avrinnande vatten. Detta gäller speciellt NO<sub>3</sub>-N.

En förhöjning av kvävehalterna har också observerats vid undersökningar gjorda i USA. Där fann man att den totala mängden organiskt kol och den lösliga delen COD var lägre i vattnet under dränerande asfaltbetong än i avrinningen från impermeabla ytor medan motsatsen observerats vad gäller Kjeldahl kväve och ammonium kväve. De låga värdena på TOC och COD tillsammans med förhöjda Kj-N och NH<sub>4</sub>-N anser man indikera att en anaerob nedbrytning sker i det stillastående vattnet på botten i konstruktionen.

Föroreningskoncentrationen av bly har också befunnits lägre i vatten från de dränerande konstruktionerna.

Även ny asfaltbetong och ny makadam kan innehålla en viss mängd kväveföreningar. Vissa avsningsprodukter t ex urea kan också innehålla kväve. Den högre kloridhalten i dräneringsvattnet kan också förklaras med vägsalt som ackumulerats i asfalten eller i makadamen under vinterväghållningsperioden. I USA i likhet med i Lund har man funnit att den sura nederbörden som faller över dränerande asfaltytor ökar i pH upp till närmare neutralt innan det perkolerar vidare och bildar grundvatten.

I tabell 7.1:6 visas föroreningskoncentrationen i vattnet som perkolerat ned under en dränerande överbyggnadstyp i USA (se Gburek and Urbab, 1980).

**Tabell 7.1:6** Föroreningskoncentrationen hos det perkolerande vattnet under en beläggning av dränerande asfaltbetong.

Variabel	Värde	Enhet
pH	6.5-7.5	
Ca	10-30	ppm
Mg	2-11	ppm
Na	4-20	ppm
K	1-4	ppm
NO <sub>3</sub> -N	0.8-1.5	ppm
Cl	3-10	ppb
Fe	0-5	ppb
Mn	0-5	ppb
Cu	0-3	ppb
Zn	0-6	ppb

#### 7.1122 Föroreningssituationen i konstruktionen efter byggnadskede.

De båda parkeringsytorna i Ideon blev kraftigt nedsmutsade under byggnadsskedet i området. En byggarbetsplats är vanligen en spridningskälla till både organiska och oorganiska föroreningar. Förekomsten av föroreningar är beroende på vilka aktiviteter som pågår i området och omfattningen av dessa.

Testytorna i Ideon blev speciellt kraftigt nedsmutsade av jordpartiklar som föll av fordonen i samband med transport av schaktmassor. Jordpartiklar transporteras också från ej färdigställda ytor via fordonens däck till de genomsläppliga ytorna. Jordpartiklarna tillför suspenderbart material och fosfor till ytorna. Näringsämnen och tungmetaller kan också förekomma. Mäktigheten av jord- och lerlagret på testytorna var stundtals flera centimeter (se figur 4.22)

Till ytorna fördes också erosions- och korrosionsprodukter från det byggnadsmaterial som lagrades på ytorna. Lagring av byggnadsmaterial direkt på de färdigställda asfaltytorna är mycket vanligt.



Testytorna användes dessutom som arbetsplats för diverse mer hantverksmässiga aktiviteter såsom, rör- och snickeriarbeten, cementblandning mm.

Dessutom tillfördes oljeprodukter från läckande maskiner och i samband med påfyllning av bränsle till maskinerna. Sandning och saltning skedde i normal omfattning under vinterperioden. På sommaren spreds salt i dammbekämpande syfte eftersom asfaltytorna som tidigare nämnts var täckta med ett lager jordpartiklar vilket dammade vid torr väderlek.

Dessutom tillfördes ytorna föroreningar i form av atmosfäriskt nedfall. Storleksordningen av detta nedfall presenteras i tabell 7.1:7.

**Tabell 7.1:7** Stoftnedfall över Lund. Enhet mg/m<sup>2</sup> och år. (Hogland, 1986)

<u>Variabel</u>	<u>Koncentration</u>
Cl	3660
P <sub>tot</sub>	19
Cu	38
Zn	26
Pb	19
Cr	3.6
Cd	2.2

Till ytorna nr C3 och nr C4 tillfördes också föroreningar i samband med det genomförda snöförsöket (se avsnitt 7.122).

Erfarenheter från USA säger att mycket sträng kontroll av byggfordon måste ske under byggnadsskedet för att undvika att dessa tillför konstruktionen igensättande material. Under byggnadstiden utsätts ytorna för skräp och smuts från dessa fordon under flera månader. Den kontinuerliga byggtrafiken arbetar ner smutsen i beläggningsens porer och igensättningen är ett faktum. Endast om lerkakorna tages bort från fordonens hjul och att ytorna dagligen rengörs genom sopning och högttrycksspolning kan beläggningsens ursprungliga infiltrationsegenskaper bibehållas (WRA, 1984).

Beläggningsen på de ytor som blivit kraftigast belastad och nedsmutsad av byggtrafiken inom Ideon i Lund grävdes upp och prover togs i en provgrop på olika djup i konstruktionen (se även Väg och Vattenbyggaren nr 9, 1986). Prover togs på följande nivåer: dränerande beläggning (A), avjämningslagret omedelbart under beläggningsen (B), makadambärlager på nivån 25 cm under beläggningsen (C), makadambärlager strax ovanför fiberduken (D), fiberduk (E) och på moränleran 0-1 cm under fiberduken (F).

Resultaten från analyserna av föroreningsinnehållet på proverna visas i figur 7.1:2 och tabell 7.1:8. Den största andelen föroreningar återfanns på fiberduken vad gäller alla analyserade föroreningar utom P<sub>tot</sub>, Ts, Cu, Cd. För dessa variabler uppmättes de högsta värdena i leran omedelbart under fiberduken. För alla föroreningsvariabler utom Kj-N och (NO<sub>2</sub> -

NO<sub>3</sub>)-N uppträdde de lägsta värdena i makadamlagret cirka 25 cm under asfaltytan.

**Tabell 7.1:8** Föroreningssituationen på olika nivåer i enhetsöverbyggnad efter cirka ett års drift. Yta C1 inom Ideon. Enhet mg/kg torr vikt.

	pH	SS	TS	FS	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub>	P <sub>tot</sub>	PO <sub>4</sub> -(NO <sub>3</sub> + P <sup>4</sup> KJ-N-NO <sub>3</sub> )			Cu	Zn	Pb	Cd	Cr	Al
Asfalt* (A)	8.5	147 · 10 <sup>3</sup>	108 · 10 <sup>3</sup>	181 · 10 <sup>3</sup>	60	17	0.8	0.2	0	0.2	1.2	8	3.1	0.01	1.6	1068
Avfällningslager (B)	8.5	58 · 10 <sup>3</sup>	56 · 10 <sup>3</sup>	51 · 10 <sup>3</sup>	94	65	0.6	0.2	0.6	0.3	2.0	8	1.8	0.003	6.9	1584
Makadam (C) (25 cm nivå)	8.7	31 · 10 <sup>3</sup>	46 · 10 <sup>3</sup>	45 · 10 <sup>3</sup>	72	17	0.5	0.2	2.0	0.7	0.5	5	0.7	0.001	4.2	703
Makadam (D) (ovanför fiberduk)	9.2	69 · 10 <sup>3</sup>	64 · 10 <sup>3</sup>	62 · 10 <sup>3</sup>	135	18	0.6	0.2	0	0.2	2.7	7	1.0	0.001	8.0	1239
Fiberduk (E)	9.0	484 · 10 <sup>3</sup>	537 · 10 <sup>3</sup>	495 · 10 <sup>3</sup>	857	381	15.5	4.3	7.2	2.1	6.2	49	14.3	0.06	23.5	9624
Moranlera (F) (under fiberduk)	7.7	464 · 10 <sup>3</sup>	547 · 10 <sup>3</sup>	492 · 10 <sup>3</sup>	220	138	39	1.1	1.8	0.9	8.9	25	11.2	0.08	11.6	4624

\* pH=6 avrinningsvatten

Överhuvudtaget var föroreningssituationen låg i konstruktionen vilket beror på att den endast varit i bruk under ett år när provtagningen utfördes. Det visade sig också att samtliga lager verkade pH-höjande på vattnet vilket minskar risken för s k pH-chock om sur nederbörd förs ned i konstruktionen. pH i vattnet efter genomspolning av de olika lagren varierade mellan 7.7 och 9.2.

Efter längre tids användning kan förekomsten av tungmetaller förväntas öka i konstruktionen. I figur 7.1:2 anges också storleksordningen av förekomsten av de olika tungmetallerna på olika nivå i konstruktionen. Dessa resultat kan jämföras med ordningen för koncentrationen av lösliga tungmetaller i ytse-diment vilket Wigington et al, 1983, fann till följande: Pb<Cu<Cd<Zn. Morrison et al, 1983, fann också närvaron av tungmetaller i löst form i dagvattnet till att vara av samma ordning.

I tabell 7.1:9 visas föroreningssituationen i ny asfaltbetong, i finmakadam för avjämning och i grovmakadam när den kommer direkt från krossverket. Det kan konstateras att i den öppna beläggningen har förekomsten av kadmium och bly ökat väsentligt efter ett års användning av konstruktionen. Detsamma gäller också variablerna suspenderat material, torrsbstans och glödningsrester. Vidare kan konstateras att förekomsten av fosfor och kväve är högre i ny asfaltbetong än den är efter ett års användning.

**Tabell 7.1:9** Föroreningssituationen i nya överbyggnadsmaterial (innan utläggning).

Variabel	Asfalt- betong	Fin- makadam	Grov- makadam	Enhet
pH	7.5	7.8	8.2	
Susp	3.1	278	41	g/kg torr vikt
Ts	3.5	100	50	"
Gr	2.7	94	48	"
Cl	60	125	29	mg/kg
SO <sub>4</sub>	39	115	25	"
P <sub>tot</sub>	2.9	3.9	1.2	"
PO <sub>4</sub> -P	0.3	1.4	0.4	"
Kj-N	2.2	0	0.9	"
NO <sub>2</sub> -N + NO <sub>3</sub> -N	3.1	1.0	0.4	"
Cu	0.7	3.6	0.2	"
Zn	2	18	6	"
Pb	0.02	3.3	1.1	"
Cd	0.002	0.005	0.01	"
Cr	0.5	4.5	0.6	"
Al	71	2035	228	"

Föroreningssituationen i beläggningsmaterialen och på fiberduken kan också uttryckas i kg/m<sup>2</sup> eller i mg/m<sup>2</sup>. Se tabell 7.1:10.

**Tabell 7.1:10** Föroreningssituationen i beläggning och i fiberduken för den uppgrävda delytan (C1) samt atmosfäriskt nedfall.

Variabel	Asfalt	Fiberduk	Stoft- nedfall	Enhet
pH	8.5	9.0	3.8	
Susp	10.8	1		kg/m <sup>2</sup>
Ts	8	1.1		kg/m <sup>2</sup>
Gr	7	1		kg/m <sup>2</sup>
Cl	0.3	0.02	3660	mg/m <sup>2</sup>
SO <sub>4</sub>	1300	800	12828	mg/m <sup>2</sup>
P <sub>tot</sub>	62	27	19	mg/m <sup>2</sup>
PO <sub>4</sub> -P	15	9		mg/m <sup>2</sup>
Kj-N	0	15		mg/m <sup>2</sup>
NO <sub>2</sub> -N + NO <sub>3</sub> -N	11	4,4		mg/m <sup>2</sup>
Cu	90	13	38	mg/m <sup>2</sup>
Zn	590	100	26	mg/m <sup>2</sup>
Pb	230	30	19	mg/m <sup>2</sup>
Cd	1	0.2	2.2	mg/m <sup>2</sup>
Cr	115	50	3.6	mg/m <sup>2</sup>
Al	79030	20200		mg/m <sup>2</sup>

Jämförs föroreningssituationen i asfalten med det årliga atmosfäriska nedfallet i Lund (se Hogland, 1986) ser vi att fosfor kalium och koppar förekommer i asfalten är 2-3 gånger större än det årliga stoftnedfallet av respektive variabel medan den är ca 10-30 gånger större för zink, bly och krom.

## 7.1123 Dräneringsvatten från äldre ytor

Föroreningskoncentrationen i dräneringsvattnet bestämdes också vid äldre ytor. I tabell 7.1:11 visas uppmätta koncentrationer från Nödinge och Bohus. Tabellen redovisar också, som jämförelse, koncentrationer i dräneringsvattnet från testytan i Sundsvall och i dagvatten i Lund, samt gränsvärden för dricksvatten enligt Vatten- och avloppsverksföreningens anvisningar.

**Tabell 7.1:11** Föroreningskoncentrationer i dräneringsvatten från testytor och äldre ytor med enhetsöverbyggnad samt gränsvärden för dricksvatten enligt VAV (Vatten- och vattenavloppsverksföreningen). Prover tagna 86-08-27. Enhet mg/l.

Variabel	Plats		Sunds- vall	Ideon C1-C4	Dagvatten Lund 78-79	Gräns- värde
	Nödinge	Bohus				
pH			7.1	7.5		7.5-9.0
Konduk- tivitet			0.22	0.46		
Cl	8	2	5.5	60	149	
P <sub>tot</sub>	0.03	0.53	0.04	0.13	0.08	
PO <sub>4</sub> -P			0.04			
Kj-N	0.05	0.15	0.05	1.29		
NH <sub>4</sub> -N			0.03	1.22		<0.5
NO <sub>3</sub> -N	0.62	2.17	0.51	4.3		<22
NO <sub>2</sub> -N	0	0.03	0	0.04		<0.017
Susp	2	130	6	18	63	
Ts	67	224	199	324	641	
Gr	66	67	153	277	551	
Ni	<5	<5	<5			<50
Cu	20	30	21	330	180	50
Cr	4	5	5	32		50
Al	650	10100	200	1150		<150
Zn	<5	12	<1	250	410	<1
Pb	<10	10	<10	30	100	<50
Cd	<5	<5	<1	0.3		<5
Fe	440	2300				<400
Mn	10	90				<100
K	1800	21400				

För de i tabellen jämförda variablerna, utom för Fe och Al, visar dräneringsvattnet dricksvattenkvalitet. Jämfört med dagvattnet är föroreningskoncentrationen i dräneringsvattnet i allmänhet avsevärt lägre, vilket tyder på att konstruktionen reducerar föroreningarna. Mängden suspenderat material i dräneringsvattnet kan vara hög periodvis speciellt under och efter byggnadsskedet.

## 7.12 Snösmältning

### 7.121 Föroreningsinnehåll i smältvatten

Under den frusna delen av året ansamlas snö tillsammans med föroreningar i anslutning till den öppna ytan och i den öppna ytans porer. Förhöjda värden på föroreningskoncentrationen i dräneringsvattnet kan dels förväntas direkt i samband med saltningen under vintern men också under själva snösmältningen. I södra Sverige kan många snösmältningsperioder förekomma under vintern eftersom temperaturen kan hålla sig kring noll grader Celsius under längre perioder.

Eftersom markfuktigheten och grundvattenståndet är högt under snösmältningsperioden föreligger också risk för viss urlakning av föroreningar från omkringliggande jordlager och fyllnadsmassor.

Omfattande ytavrinning kan ske från omgivande ytor vilket innebär både ökad vattentillrinning till konstruktionen och ökat föroreningstillskott. Ytavrinningen kan t.ex. ske från blomsterrabatter som ligger i sluttning mot ytan eller från angränsande jordbruksmark.

Föroreningstillskottet till anläggningarna i Lund på detta sätt måste dock anses som måttligt.

Totalt togs 77 prover i samband med snösmältning under projektiden. Resultaten från analyserna av dessa prover visas i tabell 7.1:12.

**Tabell 7.1:12** Föroreningskoncentrationer i dräneringsvattnet från ytorna nr C1-C4 i IDEON under snösmältning. Medelvärde för 77 prover. Enhet mg/l.

Variabel	Värde Medel	Max	Min
pH	7.60	8.40	7.10
Susp	47.00	85.00	8.00
Cl	51.00	60.00	0
Ts	320.00	348.00	218.00
Gr	292.00	328.00	168.00
P <sub>tot</sub>	0.18	0.32	0.03
Kj-N	0.20	1.29	0
NO <sub>2,2</sub> -N	2.44	5.63	1.63
Cu	0.180	0.450	0.005
Zn	0.120	0.250	0.020
Pb	0.030	0.060	<0.010
Cr	0.005	0.032	<0.005

Föreningkoncentrationen i dräneringsvattnet från enhetsöverbyggnaden vad gäller tungmetaller är något lägre än vad normalt förekommer i dagvatten. Koncentrationen av totalkväve och totalfosfor är av samma storleksordning som normalt uppträder i dagvatten. Detsamma gäller för variablerna Susp, Ts och Gr.



Medelvärdet för pH är 7.6 och ingen indikation på någon pH-chock i samband med snösmältningen förekommer.

Fullständiga pollutografer för snösmältning analyserades fram vid några få tillfällena. Den 6/2 1987 togs prov på dräneringsvattnet från yta nr C3 och nr C4. Totalt avrann 43 m<sup>3</sup> under 23 timmar. Maximum avrinningen var 2 l/s. 24 vattenprover togs under tillfället varvid dessa analyserades med avseende på variablerna susp och bly. Pollutograferna redovisas i figur 7.1:3. Föroreningskoncentrationerna varierade mellan 8 - 43 mg/l för susp och 0.02 - 0.06 mg/l för bly medan medelvärdet var 15 mg/l respektive 0.04 mg/l.

Pollutografen för susp ger en antydning om en s k "first flush effect" eftersom värdena upp mot 3 gånger medelvärdet uppmättes inledningsvis. Några sådana förhöjningar kunde ej påvisas för bly.

Vid ett tillfälle gjordes försök att fånga snösmältningens absoluta initialskede. Tidigare år hade denna del av snösmältningen ej kunnat mätas beroende på att mätöverfallet varit igenfruset. Den 18 och 19 mars 1987 gjordes därför manuell provtagning med jämna tidsintervall. Föroreningskoncentrationen varierade dock mycket lite. Variablerna NO<sub>3</sub>-N och NO<sub>2</sub>-N varierade mellan 2.6 och 3.4 mg/l medan konduktiviteten varierade mellan 2.5 och 3.6 ms/cm. Variabiliteten för pH var också liten och varierade mellan 7.6 och 7.8.

#### 7.122 Snösmältningsförsök

I syfte att studera hur föroreningarna från smältande snö transporteras genom enhetsöverbyggnaden genomfördes ett arrangerat försök på testytorna nr C3 och nr C4 i Ideon, Lund. Snö för försöket transporterades med lastbil från tätortens snötippor till testytan. Före avtippningen på testytan bestämdes snöns vatten- och föroreningsinnehåll noggrant. Se figur 7.1:4. Snö motsvarande 11.5 m<sup>3</sup> vatten spreds i ett jämt lager över nämnda testytor. Se figur 7.1:5.

Efter fyra dagar, med en medeltemperatur på +2.3°C, var all snö smält. Se figur 7.1:6. Medelavrinningen under perioden var ca 0.03 l/s. Prov på dräneringsvattnet togs som samlingsprover över var sjätte timme. Resultaten från föroreningsanalyserna redovisas i figur 7.1:7.

Siffervärdena från de kemiska analyserna redovisas i tabell 7.1:13. Tabellen redovisar medelvärden, standardavvikelse, variationskoefficient, minimum- och maximumvärden på föroreningskoncentrationen i dräneringsvattnet under snösmältningen. Dessutom visas föroreningskoncentrationen i procent av ursprunglig föroreningskoncentration i den utspridda snön.

**Tabell 7.1:13** Koncentration av föroreningar i snö från snö-tipp och i dräneringsvatten från testtytor i Lund. Enhet mg/l.

	pH	Kond μs/cm	Susp	TS	GR	Cl <sup>-</sup>	P <sub>tot</sub>	KJ-N	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N
Snö $\bar{m}$	7.5	55	805	816	773	14	0.14	0.43	0.23	0.14
Dräneringsvatten $\bar{m}$	7.5	361	38	276	219	17	0.04	0.50	0.35	2.39
Standardavvikelse	0.4	77	22	44	34	12	0.01	0.14	0.10	1.21
Variationskoefficient c <sub>v</sub>	0.16	5131	414	1644	999	119	1.6 · 10 <sup>-4</sup>	0.017	0.01	1.29
Min	7.1	286	20	218	168	0	0.03	0.26	0.20	1.63
Max	8.4	501	85	341	265	30	0.06	0.77	0.58	5.00
Reduktion %	0	+556	95	66	72	+21	71	+16	+52	+1607

	NO <sub>2</sub> -N	Cu	Cr	Al	Zn	Pb	Cd μg/l
Snö $\bar{m}$	0.	0.38	0.47	18.0	0.58	0.04	0.03
Dräneringsvatten $\bar{m}$	0.02	0.22	0.02	2.39	0.22	0.02	0.04
Standardavvikelse	0.003	0.15	0.01	1.37	0.11	0.01	0.005
Variationskoeff c <sub>v</sub>	1 · 10 <sup>-3</sup>	0.02	1.2 · 15 <sup>-4</sup>	1.67	0.01	1.1 · 15 <sup>-4</sup>	2.2 · 15 <sup>-5</sup>
Min	0.02	0.05	0.004	0.5	0.05	0.01	0.03
Max	0.03	0.45	0.027	5.4	0.43	0.05	0.04
Reduktion	-	42	96	87	62	50	33

Försöket gav en klar indikation på att koncentrationen av suspenderat material, glödningsrester, fosfor och metallerna krom och aluminium reduceras under passagen genom överbyggnaden. En mindre sådan indikation finns också för tungmetallerna koppar, zink och bly. Liknande resultat uppmättes under den naturliga snösmältningsperioden vilken hade föregått det arrangerade försöket. Se tabell 7.1:14.

**Tabell 7.1:14** Föroreningskoncentrationen i snö från testyta C3, C4 samt i dräneringsvattnet under snösmältningsperiod. Enhet mg/ml förutom kond i us/cm.

Variabel	Snö	Dräneringsvatten	Förändring (%)
pH	8.6	7.5	
Kond	138	462	+234
Susp	378	18	-95
Ts	356	324	-9
Gr	328	277	-16
Cl	8	60	+650
P <sub>tot</sub>	0.11	0.13	+18
KJ-N	0.54	1.29	+188
NH <sub>4</sub> -N	0.4	1.22	+205
NO <sub>3</sub> -N	0.37	4.3	+1003
NO <sub>2</sub> -N	0.02	0.04	+200
Cu	0.25	0.33	+32
Cr	0.075	0.032	-57
Al	12.7	1.15	-91
Zn	0.30	0.25	-17
Pb	0.05	0.03	-40
Cd	0.0003	0.0003	0

Några dagar innan snösmältningen påbörjades hade snön från ytorna nr C3 och nr C4 skrapats ihop och analyserats. Tidpunkten för insamlingen av dessa snöprover hade föregåtts av

en längre tid med kallt väder och pågående byggnadsaktiviteter i omgivningen.

En ökning av koncentrationen för kväveföreningarna och klorid kunde konstateras. Orsakerna till detta är inte helt utrett ännu men en trolig förklaring är att parkeringsytan är belägen på tidigare jordbruksmark. Gödningsämnen ökar mängden  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$  och Cl i vattnet. Nedbrytningen av organiskt material kan öka halten  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$  och  $\text{NH}_4\text{-N}$ .

### 7.13 Infiltrationsmätningar

#### 7.131 Testytor i Lund

Parkeringsytorna inom forskarbyn Ideon har varit kraftigt belastade med byggtrafik. Periodvis var ytorna täckta med ett flera centimeter tjockt lerlager samtidigt som de användes som upplagsplats för byggmaterial. Efter att ytorna skrapats rena med schaktblad hade dessa ytor en infiltrationskapacitet som var mindre än 1 mm/min. Ytavrinning förekom vid häftiga regn vilket är helt oacceptabelt.

Inom den del av området som enbart använts till upplagsplats var infiltrationskapaciteten omkring 300 mm/min vilket måste anses vara mycket bra efter byggperiodens slut.

Dessa inledande infiltrationsförsök genomfördes när ytorna nr C1-C4 varit belagda med HABD under ca 1 år. Härefter utbyttes HABD på de mest nedsmutsade ytorna, C1 och C2, med DRAINOR. Den nya DRAINOR beläggnings lades 85.06.29 och 5 dagar där- efter uppmättes medelinfiltrationen 380 mm/min. Eftersom ytan var ringa använd måste värdet anses som något lågt jämfört med nylagd DRAINOR.

Efter ytterligare 1 år gjordes ånyo infiltrationstester. Resultaten redovisas i figur 7.1:8.

Ytorna hade en infiltrationskapacitet som varierade mellan ca 55 mm/min i körspåren till 320 mm/min en meter in på ytan från anslutningen mot SF-stenen.

Infiltrationskapaciteten ökar också med avståndet från anslutningen mellan den permeabla asfaltytan och den impermeabla asfaltytan. Föroreningar förs in ifrån den täta beläggnings till den dränerande.

De ytor som var belagda med HABD-asfaltbetong hade kraftigt nedsatt infiltration öster om körspåren beroende på den ytavrinning som förekommit.

Den höga infiltrationen 340 mm/min till 410 mm/min i ytans västra del beror på att anslutningen mellan SF-stenen och HABD-asfalten utförts med DRAINOR asfaltbetong vilken efter omläggningen ej utsatts för någon kraftigare nedsmutsning.

Det står helt klart att ytornas infiltrationskapacitet ej ökar av sig själv efter byggtidens slut. Större regn med hög inten-

sitet och lång varaktighet har således ej tillräcklig effekt för att öppna asfaltens porer.

Infiltrationstester gjordes även på Ole Römers väg. Förutom i området 1-1.5 meter närmast vägkanterna var vägavsnittet helt igensatt så att ytan hade en infiltrationskapacitet mindre än 1 mm/min. I väggkanten varierade infiltrationen lokalt mellan 30 mm/min och 200 mm/min. Trots att vi som forskare hade möjlighet att från våra arbetsrum övervaka ytorna och betongfundament placerades på körytan kunde nedsmutsning på grund av byggtrafik ej förhindras.

Vägsediment uppsamlades från ytorna C1-C4 med hjälp av borste och skyffel varefter provet analyserades med avseende på föroreningarnas vattenlöslighet och deras tillgänglighet för växter samt partikulärt bundna föroreningar. I tabell 7.7:2, sidan 162, redovisas analysresultaten för de variabler som undersöktes.

### 7.132 Fiberdukens genomsläpplighet

För att fastställa fiberdukens genomsläpplighet utplacerades 6 st vattenståndsrör på testytorna C1-C4 i Ideon och i A1-A4 i Ole Römers väg. Studien visar att fiberduken släpper igenom ytterst lite vatten efter en tids användning. Det kan dock tilläggas att moränleran i området har liten vattengenomsläpplighet.

De övriga rören påvisade mycket små vattenståndshöjningar i konstruktionen vid nederbörd. Måttliga regn ger endast en vattenståndshöjning på ett par centimeter och då i konstruktionens låg punkt. Observationer gjordes dock ej vid något skyfallsliknande regn eftersom mätningarna gjordes för hand.

I Ole Römers väg placerades en mätelektrod för kontinuerlig mätning av vattenståndet. Elektroder var placerade på varje centimeter av instrumentet. Figur 7.1:9 visar vattenståndet under nederbördstillfällena 861119 och 861120. Totalt föll 17.5 mm över ytan. Vattenståndshöjning blev som mest 2 cm.

### 7.133 Äldre ytor

Ett urval av äldre anläggningar med enhetsöverbyggnad har studerats med avseende på deras infiltrationskapacitet. Resultaten redovisas i detalj för varje yta i Hogland och Wahlman, 1987.

Den äldsta ytan som är byggd med enhetsöverbyggnad är belägen vid Nödinge utanför Göteborg. Ytan utgör en parkeringsplats utanför ett affärscentrum och en skola. Parkeringen byggdes i tre etapper med färdigställande 1981, 1983 och 1985. Efter ett stort antal infiltrationstester kunde den areella fördelningen av infiltrationen uppskattas. Se figur 7.1:10.

Medelinfiltrationen för den äldsta ytan var 65 mm/min. Maximivärdet var 200 mm/min och minimivärdet mindre än 1 mm/min. Det lägsta värdet på infiltrationen var mindre än 1 mm/min vilket

kunde konstateras där ytavrinning förekommit från en rabatt i anslutning till asfaltytan. Hålrummen i den övre delen av den dränerande asfaltbetongen hade helt fyllts av jordpartiklar.

Infiltrationskapaciteten minskas också vid halkbekämpning med sand och salt. Ytorna i Nödinge hade sandats och saltats i normal omfattning. Någon information om att flis bör användas i stället för sand hade tydligen aldrig nått fram till vinterväghållarna. Trots detta har parkeringsytan en infiltrationskapacitet som i medeltal är över 60 gånger högre än hos en äldre permanent gräsyta vilken kan ha kapacitet på omkring 1 mm/min.

En infiltrationskapacitet på 1 mm/min kan vara ett rimligt krav att ställa på en öppen beläggning. Kapaciteten motsvaras av nederbördsintensiteten för ett kraftigare sommarregn. Det är dock tillrådligt att lägga en 50- eller 100-faldig säkerhet på detta för att ha en väl fungerande yta.

Vid köpcentrat i Nödinge finns ytterligare två ytor belägna. Infiltrationskapaciteten för dessa två ytorna redovisas också i figur 7.1:10. Medelinfiltrationen för de två senare byggda ytorna är 90 mm/min respektive 570 mm/min. Den yngsta ytan är ej så väl frekventerad som de övriga ytorna. Ett större sammanhängande område med infiltrationskapaciteter mindre än 1 mm/min finns inom den yta som är byggd 1983. Området utgör infarten till en välbesökt kiosk. Denna del av ytan har förmodligen blivit sandad rikligare än övriga delar vilket därmed orsakat igensättningen. Infiltrationskapaciteten är även mindre än 1 mm/min i ytans sydostligaste hörn där en obelagd gångstig ansluter.

Infiltrationstester har också gjorts vid andra ytor i Göteborg och dess omgivning. I tabell 7.1:15 redovisas resultaten från dessa mätningar. I tabellen ser vi att samtliga ytor utom en (Nödinge C) har områden vars infiltrationskapacitet är lägre än 1 mm/min. Trots detta fungerar de flesta ytorna utan problem eftersom medelinfiltrationen i allmänhet är relativt hög.

Vid avrinning på ytan rinner vattnet endast några få meter innan det når områden med högre infiltrationskapacitet. Problemet av allvarigare art kunde endast noteras på Bohus C och Glasberget. På parkeringsplatsen Bohus C har jord lagrats på den dränerande asfaltytan samt en ledningsgrav grävts genom konstruktionen. En större vattenpöl förekommer vid kraftiga regn och vid snösmältning.



**Tabell 7.1:15** Infiltrationskapaciteten vid olika äldre ytor.  
Enhet: mm/min.

Plats	Infiltration			Byggnadsår
	Medel	Min	Max	
Nödinge A	65	<1	200	1981
Nödinge B	90	<1	300	1983
Nödinge C	570	500	600	1985
Glasberget N	60	<1	200	1983
Glasberget Ö	70	<1	200	1983
Bohus A	90	<1	300	1982
Bohus B	60	<1	200	1982
Bohus C	2	<1	50	1985
Bohus D	10	<1	100	1982
Åbyfältet	105	<1	200	1985
Spårv.hall.	100	<1	220	1984
Taggtickan N	105	<1	200	1983
Taggtickan Ö	30	<1	200	1983
Digesgårda	390	<1	700	1982
Kvibille	225	<1	800	1984

På Glasberget har erosion från rabatter och slanter orsakat partiell igensättning samt lekande barn i anslutning till sandlådor. Biltrafiken har dragit in föroreningar från områden belagd med tät beläggning. Där vattenpölsbildning uppstått har man enkelt löst problemet genom att såga upp ett hål i beläggningen. Därmed har makadamen blottlagts och ett galler till en rännstensbrunn placerats på en fiberduk i det upptagna hålet. Se figur 7.1:11.

Sammanfattningsvis kan sägas att följande orsaker till igensättning hittades under inventeringen av ytorna;

1. Nedsmutsning orsakad av fordonstransport
2. Erosion och korrosion av byggnadsmaterial som upplagrats ytorna
3. Upplagring av jord och sand under byggnadsskedet
4. Nedsmutsning i samband med färdigställande av gräsmattor och rabatter
5. Restprodukter från hantverksmässiga aktiviteter såsom rör- och snickeriarbeten och betongarbeten.
6. Sandning och saltning för halkbekämpning.
7. Vinderosion och ytavrinning från angränsande mark
8. Nedsmutsning orsakad av barnaktiviteter kring sandlådor

För detaljerade studier av nämnda undersökning hänvisas till Hogland och Wahlman, 1988.

#### 7.14 Markfuktighet

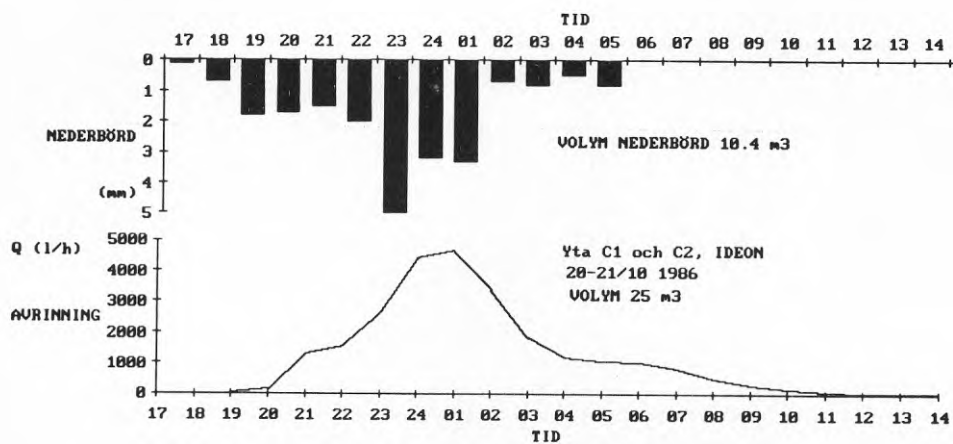
Ursprungligen utplacerades två markvattenrör i vardera testytan på parkeringsplatsen i Ideon. Dessutom drevs ett rör ned i en parkeringsyta utförd med tät beläggning detta för att erhålla referensvärden. Den relativa förändringen av markfuktigheten mättes en gång per månad.

Mätningarna visar att fuktigheten i leran i decimetrarna närmaste under fiberduken avtar under sommaren, för att sedan öka igen när höstregnen startar i oktober och november. Se figur 7.1:12a. Detta gäller i stort för både yta nr C2 och nr C4 i Ideon.

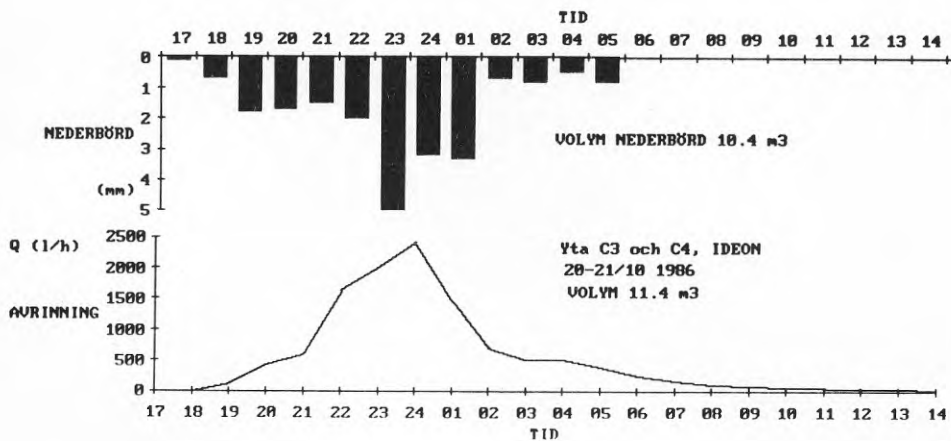
Yta nr C4 förefaller ha högre fuktighet under sommaren än yta nr C2. Detta kan bero på att asfalten på yta nr C4 varit kraftigt igensatt under större delen av mätperioden och lufttillträdet till konstruktionen är lägre vilket ger mindre avdunstning. Resultaten indikerar också att fiberduken släpper igenom en mindre del vatten.

Jämförs fuktigheten i enhetsöverbyggnaden med fuktigheten i en konventionell överbyggnad finner vi att fuktigheten är betydligt större under sommaren i den sistnämnda. Fuktigheten i och under den konventionella överbyggnaden är jämnare under hela året. Fuktigheten avtar ej heller lika snabbt mot ytan ( se figur 7.12b)

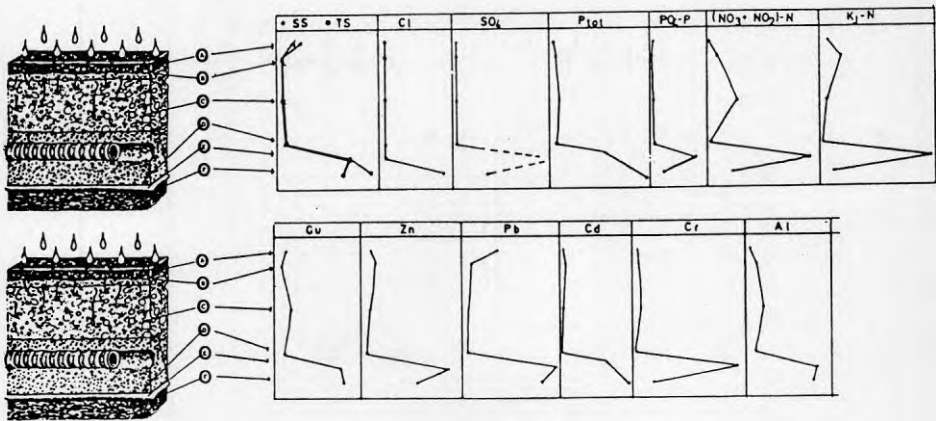
I enhetsöverbyggnaden kunde konstateras en nedgång i uppmätt fuktighetshalt under fiberduken i samband med den extremt kalla perioden i Lund under vintern 1987. Minusgrader ned till 25°C uppmättes under en längre period i Lund detta år.



Figur 7.1:1a Avrinningshydrograf från testyta C1 och C2.



Figur 7.1:1b Avrinningshydrograf från testyta C3 och C4.



Asfalt A

Justeringslager B

Makadam C

Cd &lt; Cu &lt; Cr &lt; Pb &lt; Zn &lt; Al

Cd &lt; Pb &lt; Cu &lt; Cr &lt; Zn &lt; Al

Cd &lt; Cu &lt; Pb &lt; Cr &lt; Zn &lt; Al

Makadam D

Fiberduk E

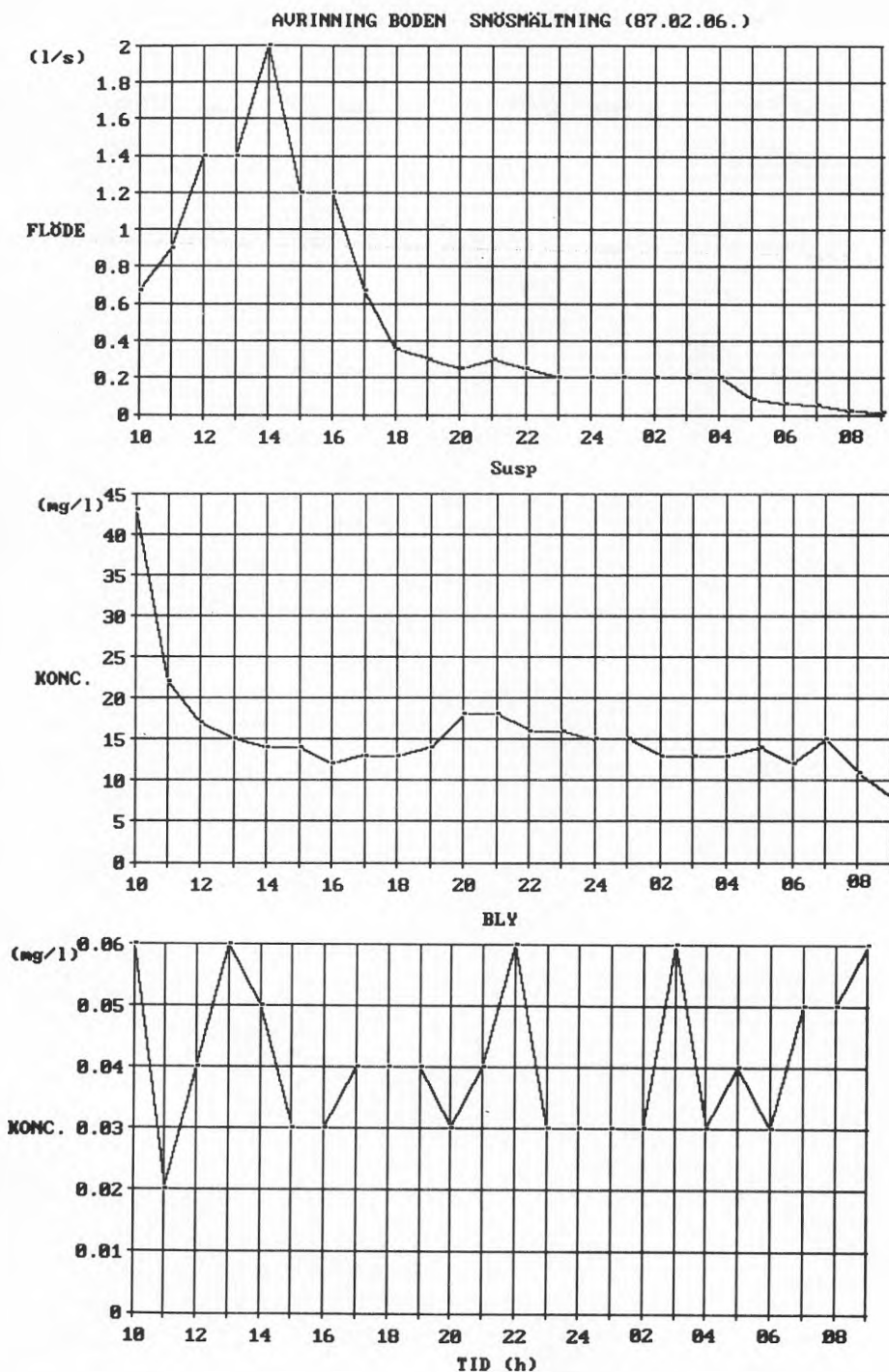
Moränlera F

Cd &lt; Pb &lt; Cu &lt; Zn &lt; Cr &lt; Al

Cd &lt; Cu &lt; Pb &lt; Cr &lt; Zn &lt; Al

Cd &lt; Cu &lt; Pb &lt; Cr &lt; Zn &lt; Al

**Figur 7.1:2** Relativ förändring av mängden föroreningar per kg torr vikt genom konstruktionen.



Figur 7.1:3 Avrinningshydrograf och pollutografer för variablerna susp och bly vid snösmältning 870206.

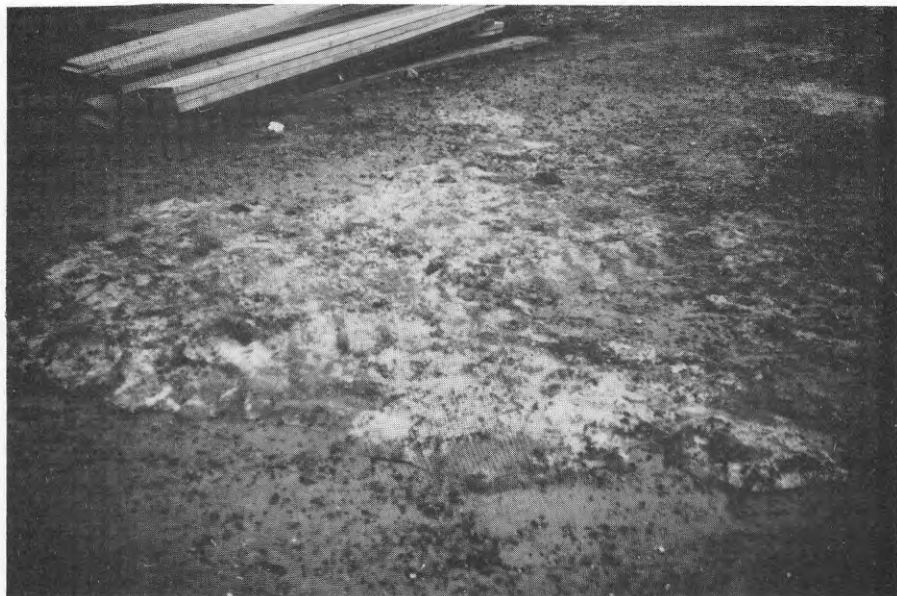




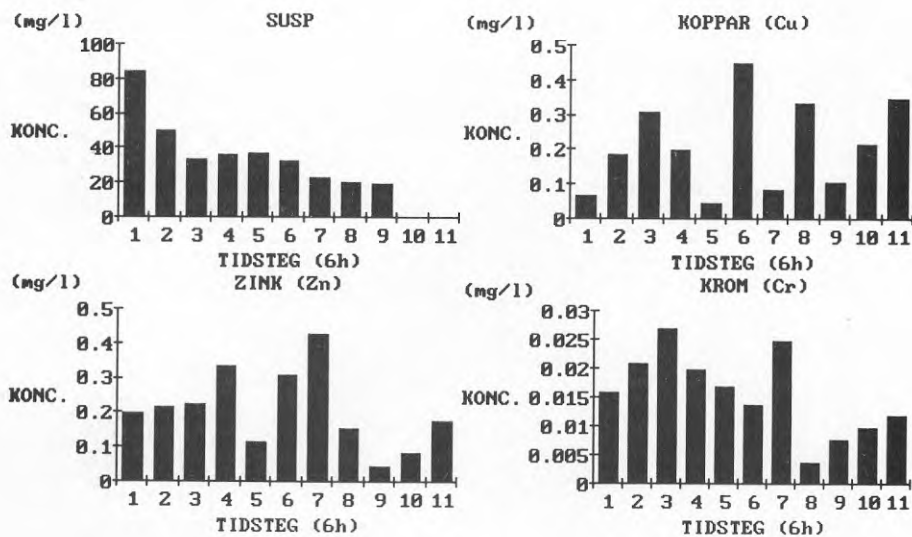
**Figur 7.1:4** Bestämning av snöns vatten- och föroreningsinnehåll.



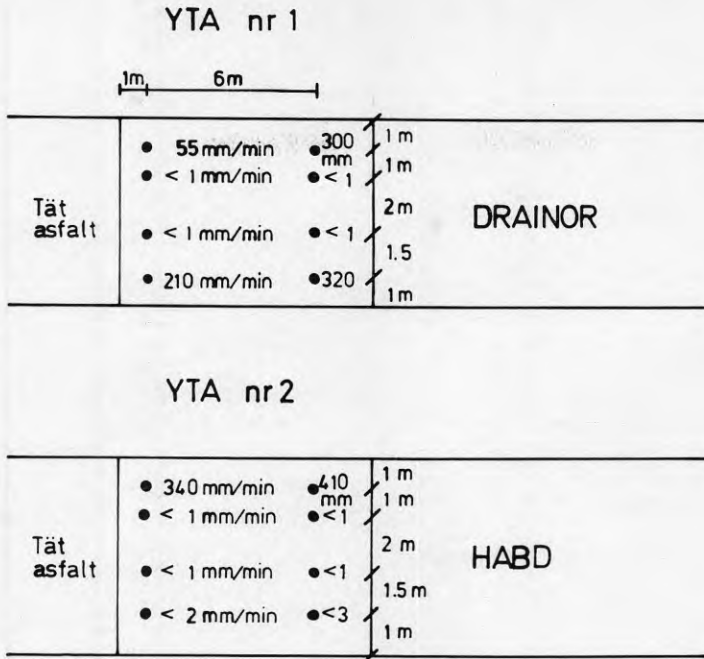
**Figur 7.1:5** Spridning av snö över testyta nr C3 inom Ideon, Lund.



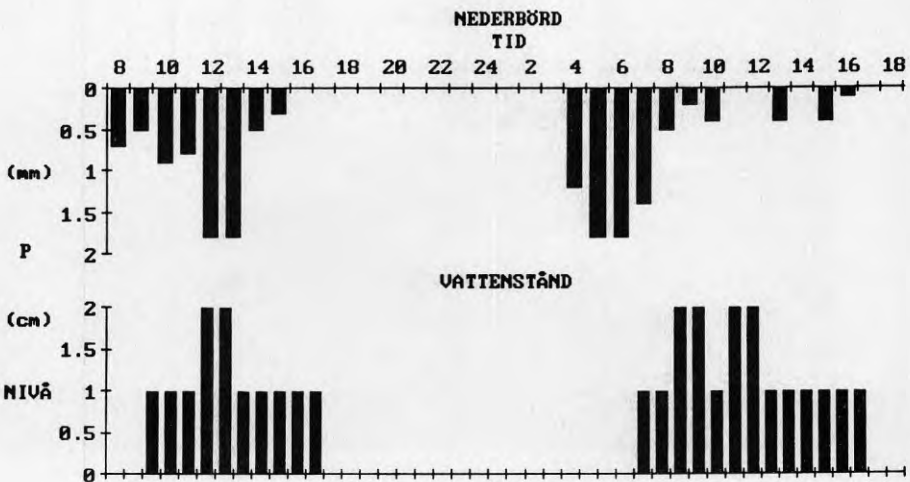
Figur 7.1:6 Kvarliggande föroreningar efter genomförd snötest



Figur 7.1:7 Föroreningskoncentrationer i dräneringsvattnet under kontrollerad snösmältning.



**Figur 7.1:8** Infiltrationskapaciteten vid testyta nr C1 och nr C3. Yta nr 1 = C1, yta nr 2 = C3.



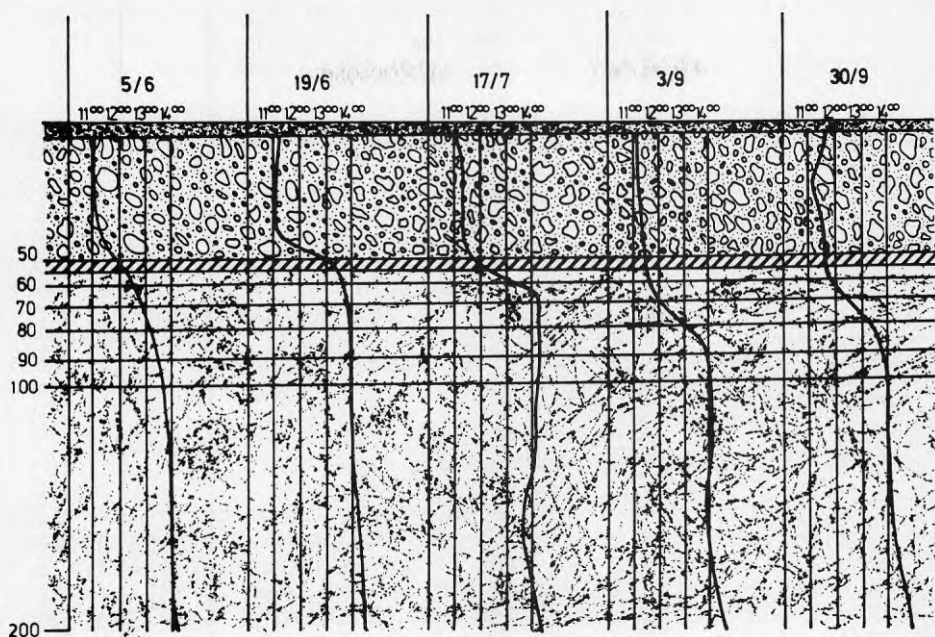
**Figur 7.1:9** Vattenståndsmätningar på fiberduken i Ole Römers väg.



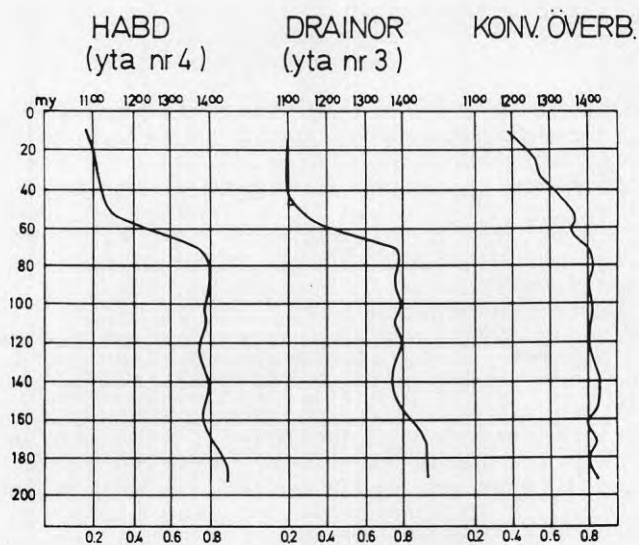
**Figur 7.1:10** Resultat från mätning av den areella infiltrationen på parkeringsplats med enhetsöverbyggnad i Nödinge.



**Figur 7.1:11** Galler till rännstensbrunn nedsatt i enhetsöverbyggnad vid igensatt beläggning i en lågpunkt inom området Glasberget, Göteborg.



Figur 7.1:12a Relativ förändring av markfuktigheten i och under enhetsöverbyggnad.



Figur 7.1:12b Markfuktighetsmätningar i enhetsöverbyggnad och traditionell överbyggnad. Yta nr 4 = C4, yta nr 3 = C2.



## 7.2 HYDROLOGISKA STUDIER I LABORATORIUM

I laboratorium byggdes 12 testboxar med enhetsöverbyggnad vilka närmare har beskrivits i avsnitt 3.31. Testboxarna bevattnades med dagvatten från en intilliggande gata.

### 7.21 Tillgänglig magasinvolym i testboxar

Hålrumshalten i boxarna bestämdes genom att boxarna fylldes med vatten upp till asfalten. Se figur 7.2:1. Medelvärdet, för samtliga boxar, på den totala hålrumsvolymer i konstruktionen var 24 %. Motsvarande värde för terrassen var 6 % och för asfalten tillsammans med makadamen 37 %. Under försöket uppmättes vätningsförlusterna i makadam och asfaltbetong till 18 l/m<sup>3</sup> makadam, vilket motsvarar nederbörden 18 mm. Permeabiliteten i bärlagergruset i terrassen uppmättes variera mellan  $1.7 \cdot 10^{-6}$  m/s och  $3.7 \cdot 10^{-7}$  m/s.

### 7.22 Infiltrationsmätningar

Infiltrationstester gjordes på asfaltytorna enligt den fältmätningssmetod som utvecklats (se avsnitt 3.226). Mätningar utfördes på ytorna nr 1-6 samt nr 12. Metoden var svårare att använda i boxarna än det är att använda den i fält. Infiltrationstesterna var besvärliga att få täta mot asfalten. Den dränerande asfaltbetongen har lagts för hand och därmed hade den ej samma jämna överyta som erhålls vid maskinutläggning.

Den uppmätta infiltrationen på ytorna nr 1-6 varierade mellan 1150 till 750 mm/min efter avslutad bevattning. En svag tendens till avtagande infiltrationskapacitet med den dagvattenmängd som ytan "bevattnats" med kunde konstateras. Den högsta infiltrationen uppmättes på yta nr 1. Samtliga av dessa värden på infiltrationskapaciteten är högre än vad man normalt uppmäter i fält på en nylagd asfaltyta. Detta kan bero på att det ej varit möjligt att packa asfalten i boxarna tillräckligt.

Infiltrationskapaciteten på yta nr 12 var omkring 400 mm/min. Ytan har bevattnats med dagvatten motsvarande 28 års nederbörd. Infiltrationskapaciteten på den ytan kan jämföras med 850 mm/min som uppmättes på yta nr 6. Yta nr 6 har bevattnats med dagvatten motsvarande 25 års nederbörd. Det kan också tilläggas att yta nr 6 är belagd med DRAINOR medan yta nr 12 är belagd med HADB-12. Således torde ej hela denna skillnad i infiltrationskapacitet mellan dessa båda ytor kunna förklaras med 3 års extra bevattningstid och därmed följande extra igensättning. Skillnaden beror snarare på olikheter i struktur mellan beläggningarna samt eventuellt att packningen av asfalten på de båda ytorna ej varit likvärdig.

Infiltrationstester gjordes också i laboratoriet enligt det förfarande som finns beskrivet i avsnitt 3.226. Infiltrationskapaciteten varierade mellan 475 mm/min för yta nr 1 ned till 50 mm/min för yta nr 9. Det låga värdet på yta nr 9 förklaras dels med att den bevattnats med en dagvattenmängd motsvarande 28 års nederbörd men också att intensiteten vid ett "bevattningstillfälle" varit för hög så att hela ytan

ställt under vatten. Igensättningen som funktion av den simulerade tiden som konstruktionen använts visas i figur 7.2:2. Det kan konstateras att den yta som bevattnats motsvarande cirka 30 års nederbörd hade infiltrationskapaciteten cirka 100 mm/min.

Resultaten från den sistnämnda typen av infiltrationstest kan naturligtvis jämföras med fältmetoden. Fältmetoden ger betydligt högre värden än laboratoriemetoden. Exempelvis uppmättes på yta nr 1 en infiltrationskapacitet på 1150 mm/min med fältmetoden med endast 475 mm/min med laboratoriemetod. Nackdelen med laboratoriemetoden är att den utförs på borrhävar vilka kan vara påverkade av borrhävet som frigörs vid borrhävet. Normalt har en nylagd öppen beläggning typ DRAINOR eller HADB-12 en infiltrationskapacitet på 400-700 mm/min.

Efter dessa mätningar av infiltrationen lyftes beläggningen i boxarna bort med hjälp av en travers. Se figur 7.2:3. På beläggningen från varje testbox togs sedan en borrhäva och analyserades med avseende på dess infiltrationskapacitet i laboratorium. Medeltjockleken för de olika asfaltytorna varierade mellan 5.5 cm till 9.5 cm. Även på ytor lagda i fält, utav van personal, kan tjockleken på asfaltlagret variera kraftigt.

På varje yta infiltrerades 1 liter vatten varvid tid togs tills hela vattenmängden transporterats igenom provkroppen. Varje uppmätt värde på infiltrationen korrigerades med hänsyn till tjockleken på provkroppen. Beroende på att asfalten lades för hand blev tjockleken varierande. Den tunnaste provkroppen nr 9 var 5.5 cm medan den tjockaste nr 1 var 11 cm.

Vid betraktande av asfalten i ett färskt snitt genom provet kunde konstateras att nedsmutsningen i asfaltens porer var betydligt mer jämnt fördelad än vad som är vanligt när nedsmutsningen skett genom fordonstrafik. I det senare fallet har man vanligen en koncentration av föroreningar i de två översta centimetrarna närmast ytan. Under försöket i laboratoriet har testytorna ej utsatts för däckslitage vilket är fallet på trafikerade ytor.

### 7.23 Mätning av vattenförorening

Efter det att ytorna i testboxarna bevattnats med förutsagd vattenmängd påbörjades provtagningen. Först togs prov på dräneringsvattnet från det understa dräneringsröret dvs det som är beläget i terrassen. Före provtagningen begöts varje yta med en vattenmängd motsvarande 10 mm nederbörd varefter allt avrinnade vatten från dräneringsröret uppsamlades. Endast blykoncentrationen i dräneringsvattnet analyserades. Koncentrationen varierade mellan 0.01 - 0.04 mg/l i de olika boxarna. Något tecken till att föroreningskoncentrationen skulle öka med antalet år som ytorna blivit bevattnade finnes ej. I från box nr 8 vilken ej hade blivit bevattnad uppmättes 0.03 mg/l.

### 7.231 Förorening i påfört dagvatten

Ytorna i testboxarna bevattnades med dagvatten från en av Lunds trafikerade gator. Föroreningsbelastningen som funktion av bevattningstiden visas i figur 7.2:4. Siffervärden för koncentrationer i dagvattnet och för belastningen redovisas i bilaga 2.

I tabellen bör observeras att variablerna Cd och Gr, vid analys med atomabsorbtionspektrofotometer, kunde föroreningskoncentrationen endast bestämmas ligga under ett visst värde. Tabellen visar i dessa fall endast största möjliga mängd som kan ha påförts. Det samma gäller för variablerna Co, Cr, Cd, Ni, As, Pb, Br, V, Mo, Ti och Hg, vid analys enligt ICP-metoden. Dessa variabler markeras med < i tabellen. Slutsatserna vad gäller dessa variabler blir därför osäkra i och med att inget absolut tal kan presenteras vad gäller koncentrationen.

### 7.232 Förorening i testboxarna

Efter bevattningsperiodens slut togs prover på olika nivåer i testboxarna. Föroreningskoncentrationen på de olika nivåerna redovisas i figur 7.2:5. Genomgående för samtliga boxar och för det stora flertalet föroreningsvariabler är en förhöjd koncentration av föroreningar på duken och i makadamlagret närmast duken. För variablerna Cl och  $\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$  redovisar jämförelsevis höga koncentrationer i asfaltlagret. Klordhalterna kan förklaras med upplagring av salt från vinterväghållningsperioden. Kväveföreningarna härrör förmodligen från asfalten.

I figur 7.2:6 visas föroreningssituationen för bly i de olika testboxarna vilken kan anses typisk för de flesta övriga variabler. Följande generella drag kan skönjas;

- \* Låg koncentration i asfalten med liten variation mellan boxarna
- \* Avjämningslagret har i allmänhet något högre koncentration än övriga nivåer i makadamen om vi bortser ifrån makadamskiktet närmast fiberduken
- \* Den högsta koncentrationen uppmättes på fiberduken. Näst högst var koncentration i makadamlagret strax ovanför duken. Det sistnämnda gäller inte för Cl och  $\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$
- \* En viss tendens till att föroreningskoncentrationen stiger ovanpå fiberduken med antalet år som ytan bevattnats. Skillnaderna är dock så små att de är svåra att skilja ifrån de olikheter som uppmäts i samband med provtagning och analys. Tydligast är denna tendens i makadamlagret närmast ovanför fiberduken.
- \* Kväveföreningarna på fiberduken förefaller avta med antalet bevattningsår. Den klaraste tendensen visar Kj-N visar Kj-N.

- \* Några antydningar till att föroreningskoncentrationen i jordmaterialet närmast under fiberduken skulle öka finns ej.

Fyra av testboxarna bevattnades samtliga med en dagvattenmängd motsvarande 28 års nederbörd. Därmed var det möjligt att konstatera vilka skillnader i koncentration som förekom mellan dessa boxar. Hade konstruktionsmaterialet i testboxarna inledningsvis varit lika förorenat i samtliga boxar, hade det varit möjligt att konstruera och packa boxarna exakt likartat, hade det varit möjligt att bevattna asfaltytorna med exakt samma föroreningsmängd, hade provtagningsförfarandet varit helt likartat och inga störningar förekommit, hade de kemiska och biologiska processerna i boxarna varit lika och de kemiska analyserna kunnat genomföras med utomordentlig precision skulle föroreningskoncentrationen varit i det närmaste lika i de fyra boxarna.

I figur 7.2:7 visas hur koncentrationen varierade för variablerna Cu och  $\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ . För koppar är skillnaderna i mätvärden små ända ner till provtagningen i makadamen alldeles över fiberduken. På den nivån är det högsta värdet ca 3 ggr större än det minsta medan motsvarande värde för mätningen på fiberduken och under fiberduken är ca 2 ggr större.

Betraktas samtliga variabler så är avvikelserna vanligen ej över 2-3 ggr större än minsta värdet. Större skillnader kan finnas under fiberduken beroende på att den naturliga sammansättningen av materialet under fiberduken skiljer sig åt mellan boxarna. I box 5 och box 9 utgjordes undergrunden av bärlagergrus medan moränlera utgjorde undergrund i box 11 och box 12. Detta faktum gör att resultatet ej är helt jämförbara.

#### 7.24 Mätning av förorening i undergrund

Efter det att prover tagits på olika nivåer i enhetsöverbyggnaden och att makadam och fiberduk avlägsnats togs jordprover. Jordprover togs på nivåerna 5 cm, 15 cm och 25 cm under fiberduken.

Jordproverna analyserades endast med avseende på föroreningar förekommande i vattenfasen eftersom största intresset i studien riktades mot eventuell föroreningsspridning till grundvattennät. Några uppgifter om en ackumulering av föroreningar i partikulärform och som ej går i vattenlösning har nämnda analysförfarande ej kunnat ge. Det jordprov som togs direkt under fiberduken analyserades med avseende på totalmängd föroreningar.

Det går att dela in föroreningsvariablerna i grupper där föroreningsinnehållet varierar något så när likartat under de trettio åren. Till dessa variabler hör t ex Al, Ti, Fe, Cr och Mg vilka inte indikerar någon signifikant påverkan.

En svag ökning av koncentrationen kan skönjas på nivå 15 cm efter 1.5 års bevattning. Likartad indikation på nivån 15 cm efter 1.5 år visar också Mg, Hg, Mn, Na, Co, Ni, B, Bi och Zn. Ökningen i koncentrationen hos dessa variabler är oftast lägre



än en faktor två och kan därför också förklaras av lokal variabilitet i jordmaterialet eller osäkerheter i analyserna.

En ökning av koncentrationen efter 1.5 års bevattning återfinns också på nivån 5 cm hos variablerna  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{P}_{\text{tot}}$ , K, S, Zn och Pb. Svavel visar den kraftigaste ökningen, på ca 11 gånger initialvärde, av alla variablerna. Därefter kommer  $\text{NH}_4\text{-N}$ , Zn och  $\text{P}_{\text{tot}}$  med 4 gånger initialvärdet och K på 3 gånger.

Resultaten ger en antydning om att föroreningarna kan tränga igenom fiberduken under första åren av konstruktionens användning. Därefter har förmodligen ett lager med mycket fint sediment utvecklats på fiberduken vilket har en föroreningsreducerande funktion. Efter det att föroreningstransporten upphör fördelas föroreningarna som trängt igenom fiberduken under de första åren ned till underliggande jordmaterial och förhöjningen blir efter ett tag knappast mätbar.

$\text{NO}_3\text{-N}$  är den enda variabel som kan påvisa tecken till att en ackumulering av föroreningar förekommer under perioden. Tidigare mätningar visar också att just kväve fraktionerna kan förhöjas under vattnets transport genom konstruktionen. Samtliga av variablerna  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$  och  $\text{NH}_4\text{-N}$  bildas i samband med nedbrytning av organiskt material. Vad som bildas beror till stor del på syreförhållandena i konstruktionen. Organiskt material tillförs enhetsöverbyggnaden via dagvattnet och genom att på asfaltytorna nedfallande organiskt material finfördelas av fordonens framfart och tränger ner i konstruktionen. Det organiska materialet i dagvattnet som användes vid försöket med testboxarna utgjorde cirka 15 % av torrsubstansen.  $\text{PO}_4\text{-P}$  är en annan variabel som frigörs i samband med förmultnande av växtdelar.

I två av boxarna utgjordes undergrunden av moränlera och med beläggning av DRAINOR respektive HADB. Någon större skillnad i föroreningskoncentration hos de båda ytorna finns ej. Det torde därför kunna uteslutas i dessa fall att beläggningstypen har någon större betydelse för tillförseln av föroreningar till undergrunden. Möjligen kan de ge ifrån sig olika mängder föroreningar i samband med att asfalten är ny.

För de båda sistnämnda testytorna kan också konstateras att de högsta koncentrationerna återfinns på nivån 5 cm för de flesta variablerna. Förhöjningen är något mer markerad i moränleran än i bärlagergruset vilket kan tyda på att moränleran binder föroreningarna lättare.

Jordar består av en heterogen blandning av olika organiska och oorganiska mineralsubstanser, lermineraller, oxider av järn, aluminium och magnesium och andra fasta komponenter av varierande löslighet. Bindningsmekanismerna av föroreningarna till jordpartiklarna är mångfaldiga och varierar med sammansättningen av jorden. Kompositionen av jorden kan variera mycket stort med djupet. De processer vilka bestämmer koncentrationen av tungmetaller som kan gå i lösning är ej fullt kända idag. Förändringar i markvattenhalt, avvikelser från jämviktstillstånd och förändringar av löslighet, förändring i aktiviteter hos mikroorganismer vilka kan ha betydelse för redoxförhållandena. Den relativa rörligheten hos metaller kan ut-



tryckas grovt med förhållandet löst till bunden mängd av varje metall i relation till pH.

Rörligheten hos metaller i t ex sura jordar minskar enligt följande ordning enligt Hermes, 1982, Cd>Ni>Zn>Mn>Cu>Pb>Hg. Påverkan av pH på koncentrationen av tungmetaller i lösning varierar i förhållande till innehållet av organiskt material.

### 7.25 Fiberdukens tryckhållfasthet

I testboxarna användes samma typ av fiberduk som i Ole Römers väg dvs den styvare fiberduken och den med lägre tryckhållfasthet. Testytorna bevattnades under längre eller kortare tid med dagvatten. Därefter togs prov på fiberduken varefter tryckhållfastheten bestämdes av Svenska Textilforskningsinstitutet. Resultaten visas i tabell 7.2:1.

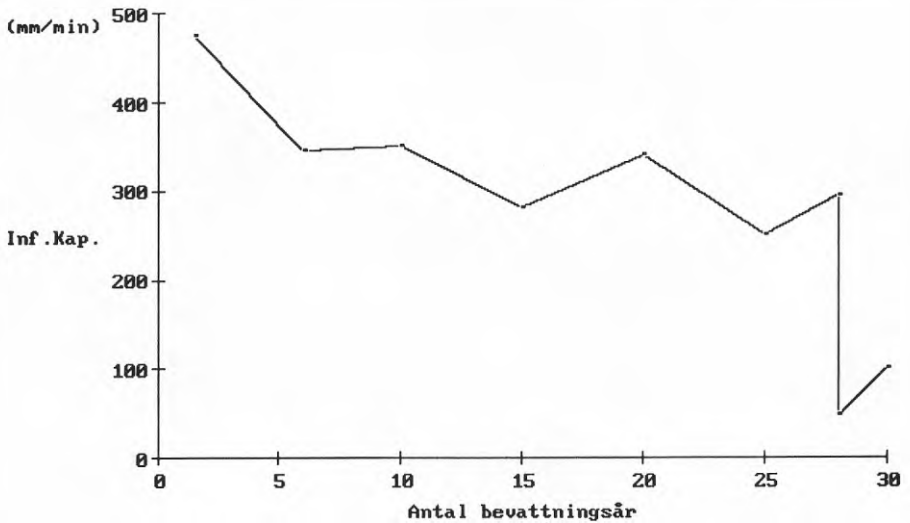
**Tabell 7.2:1** Tryckhållfasthet hos fiberduk efter användning i testboxar. Enhet N.

Box nr	Genomtrycks-kraft $F_b$ (N)	Deformation vid belastning:				År
		100	500	$F_b-300$	$F_b$	
1	1250	1.3	7.7	18.0	41.4	1.5
2a	1120	1.2	7.4	14.3	24.7	6.5
2b	1120	1.0	7.0	14.0	30.7	6.5
3	900	1.0	7.7	10.0	19.0	10
4	1130	0.9	7.0	14.1	31.9	20
5	840	1.2	8.9	10.0	22.1	28
6	1110	1.0	7.5	15.0	28.5	25
7a	900	0.8	7.4	9.7	24.7	15.5
7b	1120	1.0	7.4	14.0	29.5	15.5
9a	950	1.0	7.7	11.3	21.8	28
9b	1080	1.2	8.9	16.0	28.3	28
10a	900	1.2	8.9	10.9	26.4	30
10b	970	0.9	7.4	10.9	22.3	30
11	1200	1.0	7.7	17.5	32.0	28
12	1350	0.9	7.0	19.0	34.0	28
Ref	1230	2.0	9.0	24.3	-	0

Resultaten visar på en minskad tryckhållfasthet efter några års bevattning när fiberduken läggs på bärlagergrus. I testbox nr 11 och nr 12 lades fiberduken på en undergrund av moränlera och tryckhållfastheten på proverna från dessa ytor ligger över eller obetydligt under medelvärdet för ny fiberduk. För samtliga ytor gäller också att styvheten hos fiberduken ökar relativt snabbt efter bevattningen med dagvattnet påbörjades. Fiberduken har i detta fall inte utsatts för mekanisk belastning, som normalt är vid trafikering av överbyggnaden, förutom vid själva bygandet av testboxen.



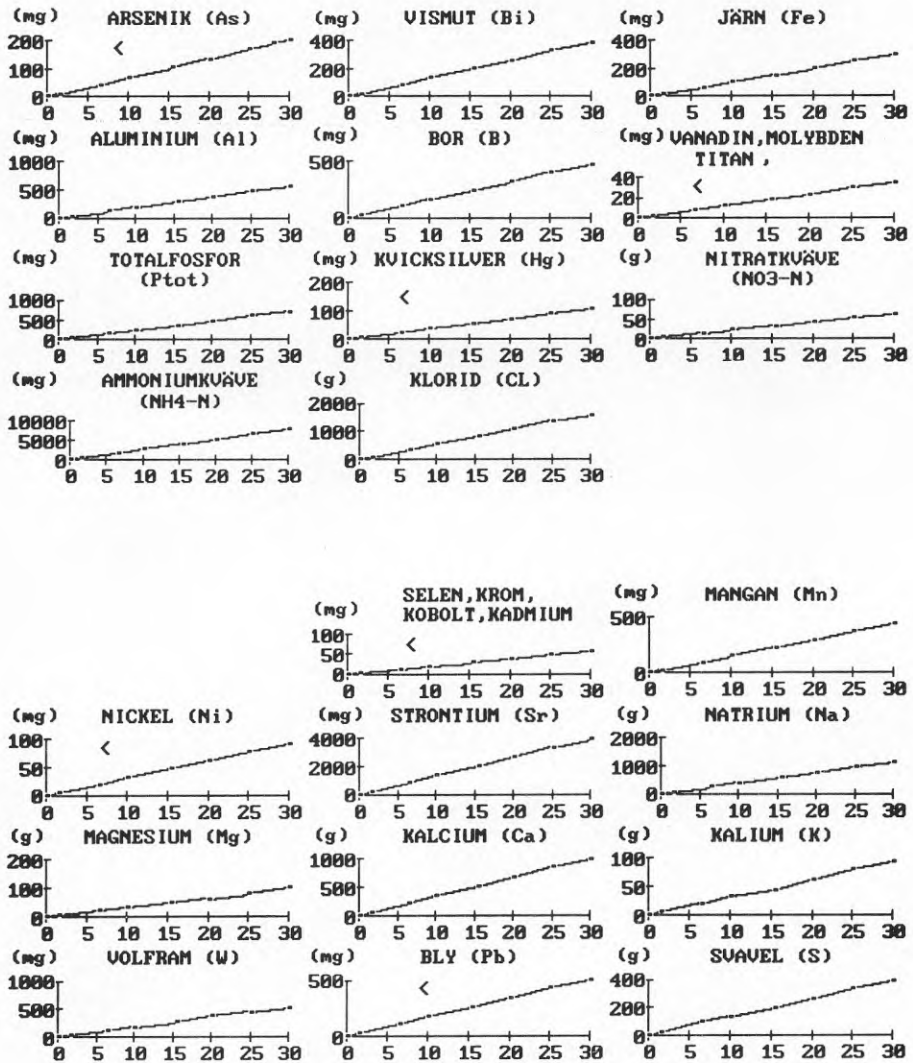
**Figur 7.2:1** Vattenfylld testbox för bestämning av tillgänglig volym hålrum.



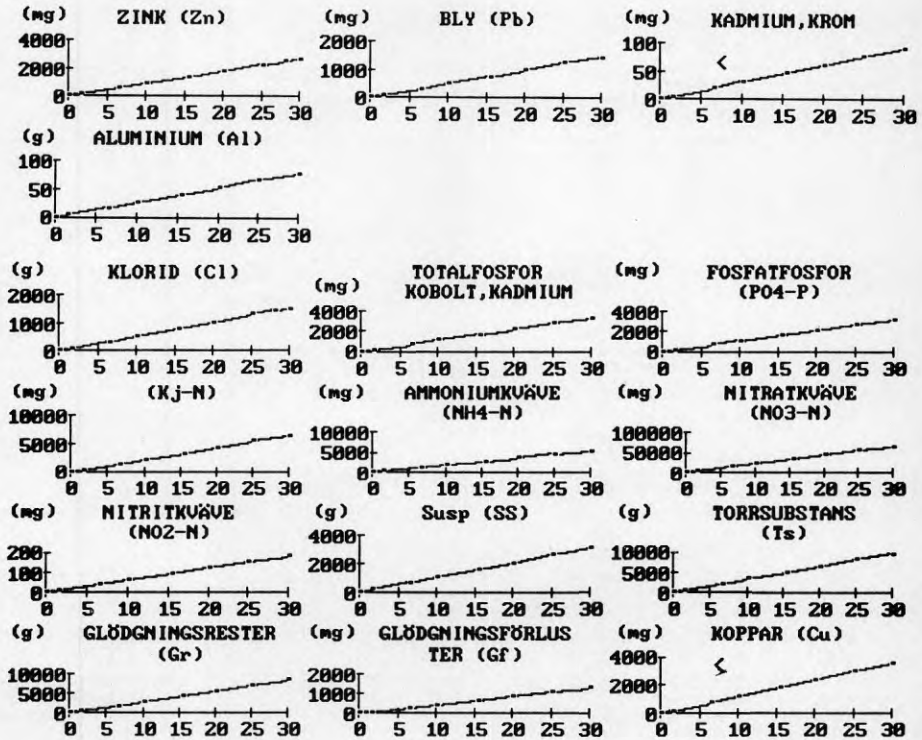
**Figur 7.2:2** Igensättningen som funktion av tid i det simulerade försöket.



**Figur 7.2:3** Avlägsnande av beläggning från testbox.

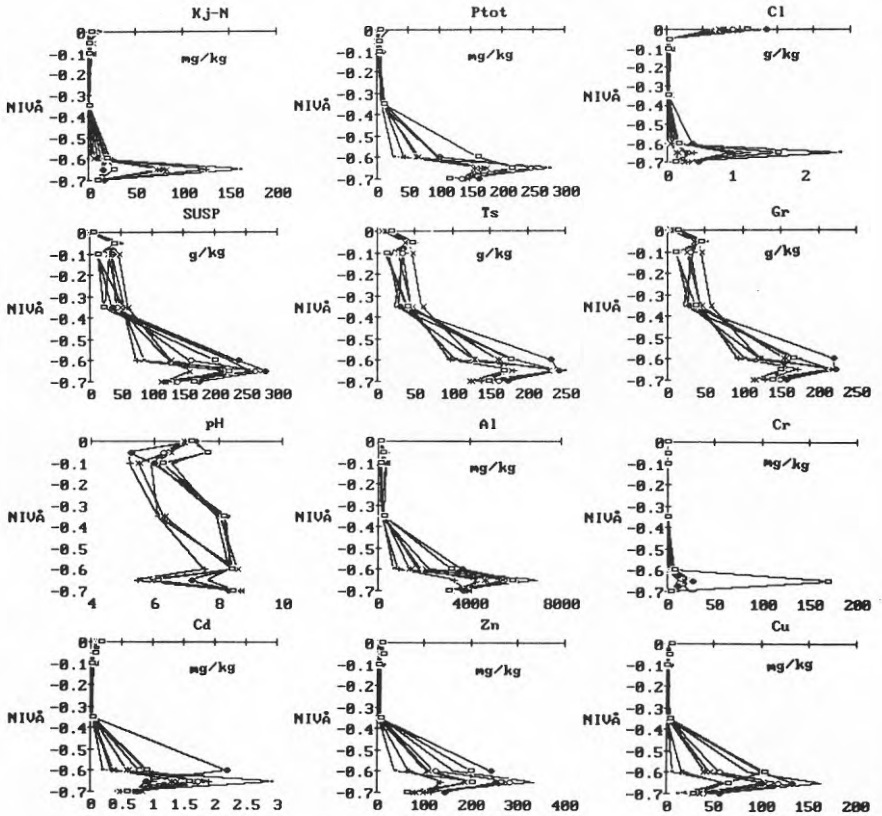


Figur 7.2:4a Föroreningsbelastningen på testytorna som funktion av bevattningsperiodens längd (antal år). Analyserats av LMI, Helsingborg

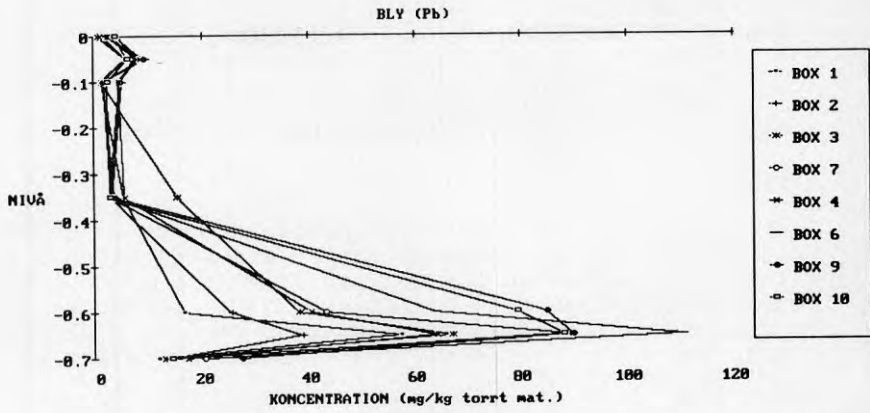


Figur 7.2:4b Föroreningsbelastningen på testytorna som funktion av bevattningsperiodens längd (antal år). Analyserats av TVRL, LTH

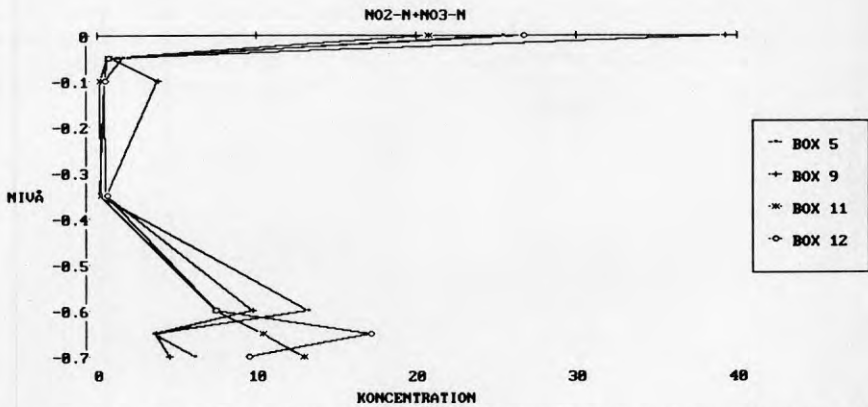
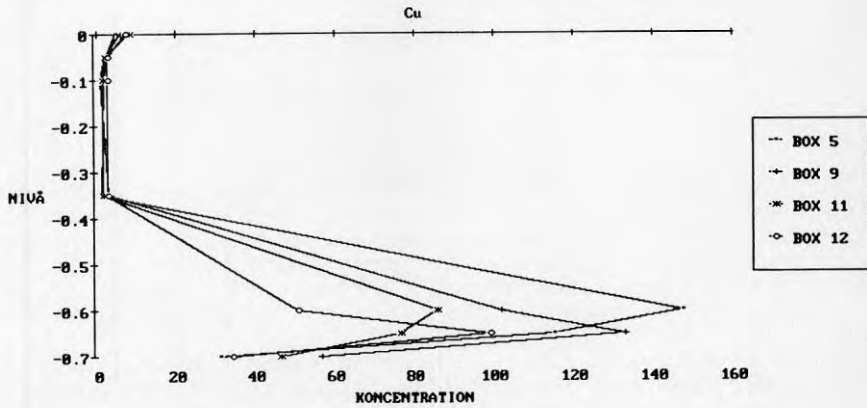




Figur 7.2:5 Föroreningskoncentrationen på olika nivåer i testboxarna efter bevattningsperiodens slut



Figur 7.2:6 Föreningenskoncentrationen av bly på olika nivåer



Figur 7.2:7 Jämförelser mellan föroreningsituationen i testboxarna 5, 9, 11 och 12

### 7.3 DIMENSIONERING AV VATTENMAGASIN

I det följande redovisas en metod för att bestämma storleken på vattenmagasinet, makadambärlagret, i enhetsöverbyggnaden. Tidigare har i avsnitt 2.21 två dimensioneringsmetoder från USA redovisats.

#### 7.31 Dimensionering för maximal nederbörd

##### Steg 1

Den effektiva porvolymen i makadamlagret bestäms utifrån maximalt uppträdande dygnsnederbörd för återkomsttiden 2 år. Uppgifter om nederbörden hämtas lämpligen från någon lokal nederbördsstation eller från Dahlström (1979). Se tabell 7.3:1. I de fall risken för skador bedöms stor kan den dimensionerande dygnsnederbörden väljas med återkomsttiden 5 eller 10 år.

**Tabell 7.3:1** Dygnsmedelnederbörd för Stockholm, Göteborg och Malmö. (Dahlström, 1979)

Återkomsttid år (T)	Stockholm mm	Göteborg mm	Malmö mm
0.5	21.7	26.8	17.8
1	27.5	33.4	23.2
2	34.3	40.6	29.6
5	46.0	52.6	41.1

Enligt Stahre (1981) kan dock dimensionerande dygnsvärden på 10-20 mm tillämpas för de flesta orter om inte avrinningsförhållandena är mindre gynnsamma. I Maryland i USA dimensioneras öppna vägkonstruktioner för regn med 2 eller 10 års återkomsttid med varaktigheten 2 timmar (WRA, 1984). I Maryland antas all perkolation ske genom botten på konstruktionen.

Den effektiva porvolymen bestäms sedan som tillförd vattenmängd, från den dränerande asfalten självt och omgivande bidragande avrinningsytor, till magasinet under det dimensionerande nederbördsdygnet minus avledd vattenmängd under samma period. Vid dimensioneringen antas hela tömningen ske genom magasinets väggar. Orsaken är att bottenytan av konstruktionen efter en tid antas få nedsatt perkulationsförmåga p g a avsättning av sediment.

**Steg 2**

När man beräknat magasinets nettovolym enligt ovan kan den erforderliga bruttovolymen bestämmas genom division med den effektiva porositeten hos fyllningsmassorna.

$$V_b = V_n / P_e$$

$$V_n = \text{nettovolym (m}^3\text{)}$$

$$V_b = \text{bruttovolym (m}^3\text{)}$$

$$P_e = \text{effektiv porositet (10}^{-6}\text{)}$$

Makadamlagrets dimensioner kontrolleras och ändras eventuellt enligt följande två kriterier:

- 1/ Är konstruktionen helt fylld ska den kunna tömmas på fyra dygn räknat från regnets början.

Denna tömningstid gäller för perkolationsmagasin och har valts så att magasinet skall kunna tömmas mellan två på varandra följande regn av dimensionerande storlek. Underlaget för tömningstiden är hämtat från Norge (Holmstrand och Lindvall, 1979). I Maryland i USA används tömningstiden tre dygn som krav vid dimensionering (WRA, 1984).

- 2/ Grundvattenytan bör ligga på ett betryggande avstånd från magasinets botten. Minst en meter ovanför högsta årstidsbundna grundvattennivå.

I Maryland används 60 cm som säkerhets avstånd till grundvattnet.

Nedan visas resultatet av en dimensionsberäkning för en godtycklig väg med en enhetsöverbyggnad där makadamlagret är 50 cm djupt, porositeten 40 %, och där grundvattenytans lutning är 45 grader. Beräkningen är gjord per längdmeter väg och med nederbördsmängderna 30, 20 och 10 mm/dygn. Resultaten åskådliggörs i figur 7.3:1 där anslutningsbar effektiv yta till per längdmeter väg är avsatt mot jordens permeabilitet. Samband visas för vägbredderna 4, 8, 12 och 16 meter för de olika nederbördsmängderna. Interpolation kan tillgripas för väg med annan vägbredd. Kriteriet med att magasinet (enhetsöverbyggnaden) skall tömmas på 4 dygn, och bara via magasinets väggar, gör att de i beräkningarna använda enhetsöverbyggnaden bara kan användas i jordar med permeabiliteter från  $4.6 \cdot 10^{-6}$  för vägbredden 4 meter till  $1.9 \cdot 10^{-5}$  för vägbredden 16 meter.

Detta kriterium kan begränsa användningsområdet för breda ytor med enhetsöverbyggnad, typ parkeringsytor och breda vägar. Det utesluter breda ytor med enhetsöverbyggnad i nästan alla moräner och alla finkornigare jordfraktioner än grov-finsand. Därför bör kriteriet ses över vad det gäller enhetsöverbyggnad och man bör undersöka om man kan tillåta att använda sig av en viss bottenutströmning från magasinet eller utöka antalet dagar som magasinet bör tömmas på.

### 7.32 Dimensionering efter speciella avrinningsituationer

Ibland kan regn under flera dygn i följd eller intensiv snösmältning vara dimensionerande. Detta gäller speciellt när omgivande jord har låg permeabilitet (se Stahre, 1981).

Tabell 7.3:2 anger överslagsvärde på permeabiliteten för olika jordfraktioner och olika jordarter.

**Tabell 7.3:2** Överslagsvärden på permeabilitet för olika jordfraktioner och jordarter. Enhet m/s.

<u>Material</u>	<u>Permeabilitet</u>	
<u>Jordarter</u>		
Fingrus	1	$- 10^{-2}$
Grovsand	$10^{-1}$	$- 10^{-3}$
Mellansand	$10^{-2}$	$- 10^{-4}$
Finsand	$10^{-3}$	$- 10^{-5}$
Grovsilt	$10^{-4}$	$- 10^{-6}$
Mellansilt/finsilt	$10^{-6}$	$- 10^{-8}$
Lera		$< 10^{-8}$
<u>Moräner</u>		
Grusig morän	$10^{-5}$	$- 10^{-7}$
Sandig morän	$10^{-6}$	$- 10^{-8}$
Siltig morän	$10^{-7}$	$- 10^{-9}$
Lerig morän	$10^{-8}$	$- 10^{-10}$
Moränlera	$10^{-9}$	$- 10^{-11}$
<u>Sediment</u>		
Fingrus	$10^{-1}$	$- 10^{-3}$
Grovsand	$10^{-2}$	$- 10^{-4}$
Mellansand	$10^{-3}$	$- 10^{-5}$
Finsand	$10^{-4}$	$- 10^{-6}$
Grovsilt	$10^{-5}$	$- 10^{-7}$
Mellansilt-finsilt	$10^{-6}$	$- 10^{-8}$
Lera		$< 10^{-9}$

### 7.33 Datormodell

Försök har gjorts att ta fram en modell för beräkning av avrinning från en enhetsöverbyggnad (se Hall et al, 1988). Modellen bygger på finita differensmetoden och har programmerats i Pascal.

Modellen syftar till att bestämma avrinningshydrografen i utgående ledning från en yta med enhetsöverbyggnad. Eftersom dräneringsledningen oftast mynnar i en dräneringsbrunn ansluten till ett dagvattensystem kan denna avrinningshydrograf användas vid beräkning ett helt systems avrinning. Indata till modellen kan vara verkligt uppmätta eller dimensionerande regn.

Eftersom modellen är analytisk har ett antal teoretiska samband använts för att beskriva situationen i enhetsöverbyggnad.



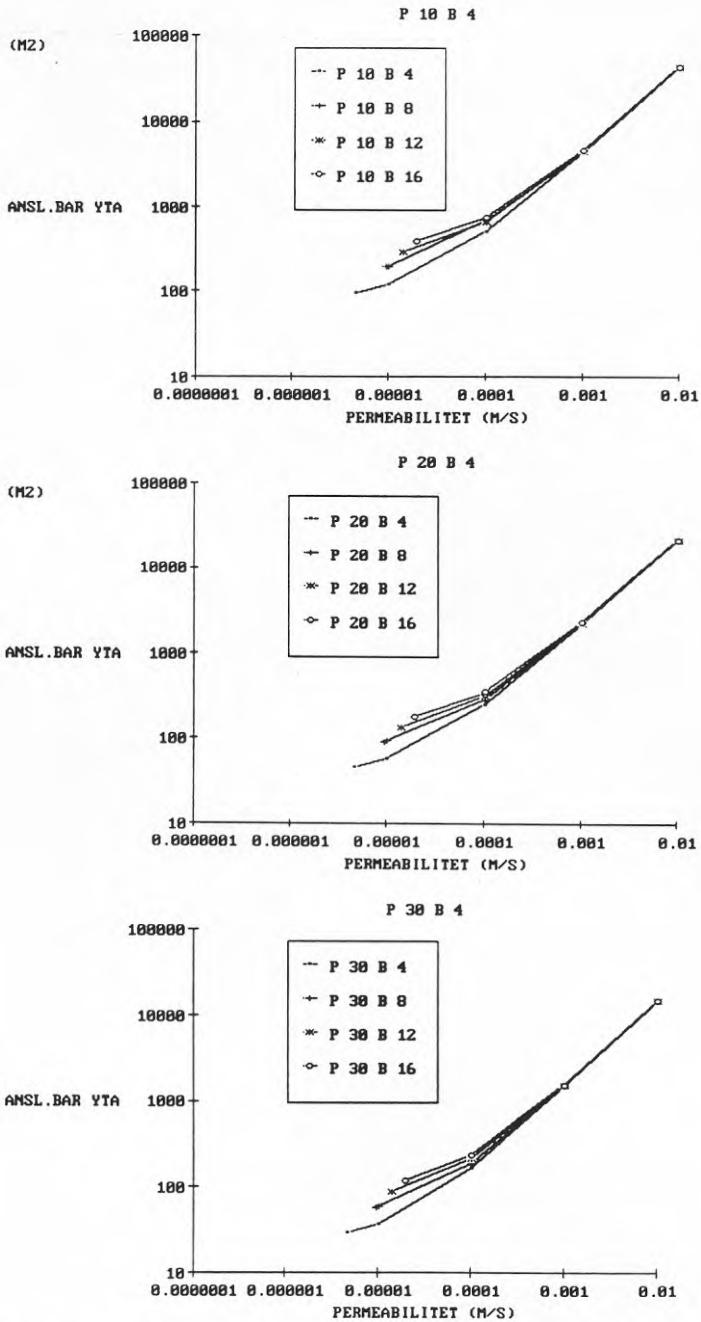
den. Utgångspunkten för strömningsberäkningen i den vattenmättade zonen i makadamen är kontinuitetsekvationen och Darcy's lag i två riktningar, dvs i vägens bredd och längdled (Lindh, 1978 och Cederwall 1980). Strömningen i dräneringsröret bestäms ur samband baserade på kontinuitetsekvationen, rörelsemängdsekvationen och Mannings formel. Den laterala inströmningen till dräneringsröret beskrivs med hjälp av kontinuitetsekvationen och Darcy's lag.

Modellen baseras på en rad antaganden om förhållanden i konstruktionens olika delar och därmed har vissa approximationer gjorts för att förenkla beräkningarna.

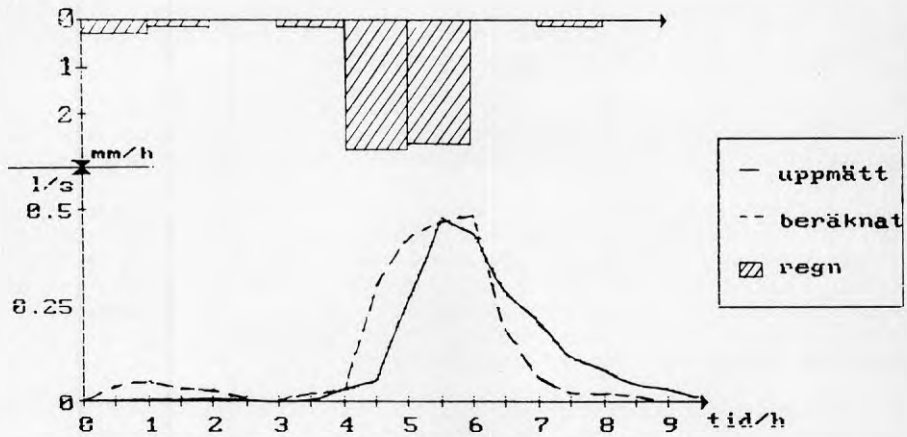
Modellen har kalibrerats mot uppmätta regn och avrinningshydrografer på parkeringsytorna vid Ideon. Nedan ges två exempel på körningar av programmet mot sådana regnhändelser där datorberäknade och uppmätta avrinningshydrografer visas, se figur 7.3:2a-b.

Som synes är överensstämmelsen god mellan beräknad och uppmätt hydrograf. Dock behöver modellen vidareutvecklas för att bli mer generell. En vidareutveckling av programmet bör dessutom kunna kopplas till datorprogram för dimensionering och analys av dagvattensystem som SWMM eller Mouse.

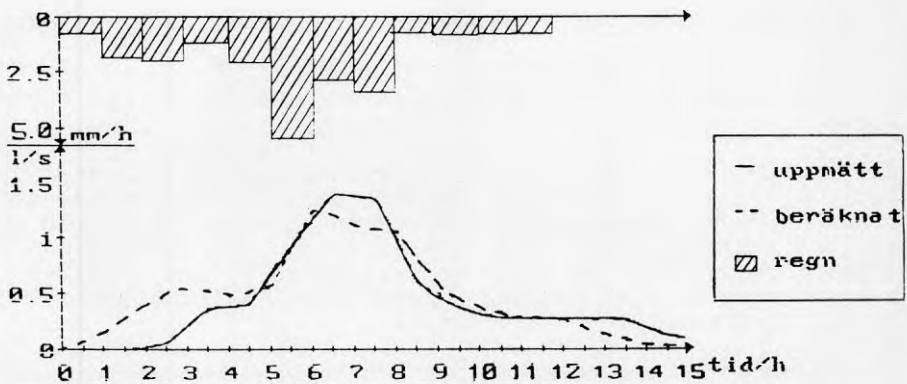
För att kunna åstadkomma en sådan vidareutveckling av programmet måste den kunna kalibreras mot uppmätta värden. Problemet med mätningar i fält är dels att de är inexakta och dels att många av egenskaperna i enhetsöverbyggnaden och omgivande mark får uppskattas. Dessutom har man inte kontroll över en mängd skeenden som t ex avrinning från omgivande ytor och egenskaper som exempelvis lutning och dräneringsrörens placering är fixa. En större anläggning med enhetsöverbyggnad i laboratorium skulle kunna lösa dessa problem.



**Figur 7.3:1** Den anslutningsbara effektiva ytans samband med jordens permeabilitet för olika vägbredder och nederbörds mängder per längdmeter väg. Makadam-lagrets tjocklek är 50 cm, porositeten 40% och en lutning på grundvattenytan på 45 grader.



Figur 7.3:2a Jämförelse mellan verkligt uppmätt avrinning 861007 och simulerad avrinning.



Figur 7.3:2b Jämförelse mellan verkligt uppmätt avrinning 861020 och simulerad avrinning. (Hall et al, 1988)

#### 7.4 BÄRIGHETSMÄTNINGAR

Enhetsöverbyggnaden består som tidigare beskrivits i avsnitt 1.2 uppifrån räknat av dränerande asfaltbeläggning, tunt avjämninslager av finmakadam och ett bärlager av grovmakadam utlagt på fiberduk. Bärighetsskador på testytor med enhetsöverbyggnad har visat sig uppkomma främst av två orsaker: otillräcklig total tjocklek på överbyggnaden vilket ger deformationer i undergrunden samt instabilitet i lagret dirket uner beläggnigen. I det följande diskuteras den senare skadetypen.

Bärigheten har bedömts med hjälp av två olika metoder för belastningsförsök; fallviktsdeflektometer respektive Argus Öga samt genom kartering av skador. Den senare redovisas i 7.6 nedan.

Mätningarna har utförts på testytorna i Lund vid upprepade tillfällen. Fallviktsmätningar har endast utförts vid ett tillfälle, under början av sommaren efter överbyggnadens första vinterperiod. Skadekartering har gjorts två år i följd. Mätningar med Argus Öga gjordes vid upprepade tillfällen dels första året med en mätningen före sommaren och en mätning under hösten, och en mätning andra året under hösten.

Vid belastning uppkommer dels deformationer som kvarstår efter avlastning dels permanenta deformationer. Med nedsjunkningsmätningar (fallvikt och Argus Öga) registrerar man i huvudsak den förra typen medan skadekarteringen skall visa på den senare.

Vid fallviktsmätningar registreras vägytans nedsjunkning i belastningscentrum och på avstånden 200, 450 och 900 mm under belastningstillfället. Mätningar med Argus Öga ger enbart nedsjunkningen i belastningscentrum. I figur 7.4:1 och 7.4:2 visas resultat från sådana mätningar vid olika total överbyggnadstjocklek. Varje punkt som visas är medelvärden av 3-4 mätpunkter på vardera sektion. Samtliga mätvärden redovisas i bilaga 4. I figur 7.4:1 består makadamlagret av fraktionen 18-70 mm och i figur 7.4:2 av 32-120 mm.

Bärighetsskador uppträder på denna typ av konstruktion om det mellanliggande finmakadamlagret mellan makadambärlagret och det dränerande asfaltlagret är instabilt eller utfört i för tjockt lager. En mindre skillnad i bärighet finns mellan ett grovt makadambärlager, 32-120 mm, och makadambärlager av finare fraktion, 18-70 mm.

Skillnaden kan anses försumbar eftersom makadam är ett mycket inhomogent material.

Vid mätningar med fallvikt har höga värden på nedsjunkningen i centrum och längs med sjunktratten erhållits. Värdena är generellt högre än motsvarande värden från likande objekt med grusbitumen överbyggnader. Denna konstruktion, med makadam som har högre styvhetsmodul än grusmaterial, borde ge lägre värden på nedsjunkning än som uppmätts. Varför så ej har skett har inte kunnat förklaras.

Undergrunden på provsträckan Ole Römers väg är moränlera som revovisats i avsnitt 5.21. Av figurerna 7.20-21 framgår dessutom att nedsjunkningen på 900 mm avstånd från belastningscentrum är

liten i förhållande till centrumnedsjunkning och nästan oberoende av överbyggnadens totala tjocklek. Detta stämmer väl med erfarenheter från mätningar med fallvikt på andra typer av överbyggnader där man kan säga att på ett visst avstånd från belastningscentrum visas undergrundens egenskaper. Utifrån dessa mätvärden kan undergrundens hållfasthetsegenskaper bestämmas.

I avsnitt 5.21 redovisades CBR-mätningar på moränleran i Ole Römers väg. Den visade på CBR-värde 3.5 vilket kan omräknas till en styvhet på mellan 25-35 MPa (Ullidtz, 1987) vid mycket dåliga förhållanden. Beräkningar med mätvärden från fallviktsmätningar på avståndet 900 mm ger styvheten 160 MPa vid mättillfället. Detta innebar att mycket goda förhållande rådde vid mättillfället dvs undergrunden var torr.

Vid avstånden 0, 200 och 450 mm från belastningscentrum varierar nedsjunkningen med tjockleken på överbyggnadens makadambärlager. I och med att detta lager är dominerande kan bidraget från asfaltbeläggningen bortses ifrån vid mätningarna. Dock verkar avjämningslagret ha inverkat på grund av sin tjocklek (3-7 cm) och sin instabilitet. De uppmätta deformationerna uppkommer främst i överbyggnadens övre del. En trolig orsak är rörelser i avjämningslagret. Detta är märkbart på ytan med makadamfraktionen 18-70 mm på Ole Römers väg.

Utifrån fallviktsdata har värden på styvheten hos beläggning, makadambärlager och undergrund beräknats med hjälp av datorprogrammet PAS 1. Se tabell 7.4:1

**Tabell 7.4:1** Beräknade medelvärden på styvhetsmodell hos enhetsöverbyggnad utifrån fallviktsmätningar på Ole Römers väg och i Ideon, Lund.

E0 = Yt-E-modell (MPa)  
E2 = Styvhetsmodul hos makadambärlager (MPa)  
C = Styvhetsmodul hos undergrund (MPa)

Yta	Tjocklek	E0	E2	C
A1 <sup>1)</sup>	750	113	340	38
A2	650	102	210	38
A3	550	82	170	34
A4	450	53	50	21
B1	700	15	200	9
B2	600	48	120	23
B3	500	71	150	37
B4	400	68	195	34
B5	300	82	245	38
C1	500	113	450	113
C2	500	98	200	98

Beräkningarna visar en hög non-linearitet, -0.5, för undergrunden med en styhet mellan 9-38 MPa. Bärlagret av makadam ligger för alla ytor lågt, mellan 50-340 Mpa, att jämföras med vanlig makadam i en bred fraktion, t ex 0-80 mm, som ligger mellan 600-1000 Mpa. En trolig orsak till de låga värdena är att det vid byggandet blev utfört ett för tjockt avjämningslager av finmakadam, som



var instabilt och i vilket det kan ha skett stora rörelser sker vid belastning. I tabellen ovan har dock inverkan från detta lager i viss mån kompenseras genom att ange ett tunt lager med låg E-modul mellan makadambärlager och beläggning. Den låga yt-E-modulen samt de låga värdena för makadambärlager gör att konstruktionen i detta fall bör utföras med tjockleken cirka 500 mm för aktuell trafiklast.

För provsträckorna B1-B4 ligger mätvärdena något högre än för sträckorna A1-A4. På sträckorna B1-B4 är avjämningslagret som tjockast, mellan 20 till 90 mm, medan det på sträckorna A1-A2 är dels mindre tjockt och dels utfört i en annan fraktion. Den lastupptagande förmåga liten i överbyggnadens övre del.

Vid de båda provsträckorna, A1-A4 och B1-B4, är undergrundsförhållandena ungefär likvärdiga enligt fallviktsmätningar. Värdena för ytorna inom Ideon, C1-C4, är högre för undergrunden. Här var undergrunden utförd med cirka 1.5 m utfyllnad.

Jämföres värdena på nedsjunkning i belastningsdcentrum, D0, med tillåtna värden enligt Danska Vejdirektoratet för motsvarande typ av undergrund bör D0-värdet inte överstiga 0.55-0.80 mm med hänsyn till aktuell trafikbelastning. Jämförande värden saknas från Vägverket. Detta ger överbyggnadstjockleken cirka 500-600 mm för mätvärden från provsträckorna A1-A4 och B1-B4. En jämförbar tjocklek på motsvarande grus-bitumenöverbyggnad enligt BYA-84 ger tjockleken 600 mm för förhållandena vid provytorna i Lund.

Även vid fallviktsmätningar på provytorna vid Ideon p-plats erhöles mätvärden som motsvarar värdena som erhöles vid Ole Römers väg. P-platsytorna har också blivit utförda med ett avjämningslager i tjockleken 30-90 mm med det tjockare lagret i ytorna C1-C2 och det tunnare i C3-C4. Avjämnningen utfördes med flisigare och mer stabilt material. Överinstämningen är bäst mellan materialet i provyta A1-A4 och ytorna C1-C4 vid tjockleken 480-550 mm.

Om man jämför värden på nedsjunkning på ombyggd respektive inte ombyggd yta inom Ideon, C1-C2 respektive C3-C4, finner man att för fallviktsresultaten ligger värden på avståndet 0-450 mm cirka 30% högre för den ej ombyggda ytan. Se tabell 7.4:2. Värdet på 900 mm avstånd, D900, är ungefär densamma på ytorna. Detta tyder på att den uppmätta skillnaden finns i överbyggnaden och inte i undergrunden. Ytorna C1-C2 har ett cirka 5 cm tjockare avjämningslager samt en beläggning av Drainor. Beläggningen på ytorna C3-C4 var HABD med lägre bindemedelshalt än Drainor. Om de skilda beläggningstyperna inverkar på nedsjunkningen kan inte avgöras utifrån dessa mätningar. Ytorna har efter byggandet utsatts för olika belastning, yta C1-C2 har trafikerats mest med tung byggtrafik och yta C3-C4 mest använts för upplagring av byggmaterial.

Även med Argus Öga uppvisar ytorna skillnad i nedsjunkning. De ombyggda ytorna har med Argus Öga (AÖ-D0) cirka 54% lägre nedsjunkning i belastningscentrum än de inte ombyggda ytorna.

**Tabell 7.4:2** Skillnader i nedsjunkning på ytorna inom Ideon. Värden från Argus Öga har räknats om till 5000 kg belastning.

Mätpunkt	Ej ombyggd yta C3-C4		Omyggd yta C1-C2		Skillnad %
	Medel	Std	Medel	Std	
FWD-D0	1.063	0.083	0.827	0.071	29
FWD-D200	0.687	0.058	0.525	0.053	31
FWD-D450	0.301	0.040	0.224	0.026	34
FWD-D900	0.114	0.018	0.105	0.010	9
AÖ-D0	1.701	0.210	1.035	0.154	54
Antal mät- punkter	10		10		

Resultaten tyder på att överbyggnaden bör förses med ett stabilt lager som förbinder slitlager och makadambärlager och samtidigt minskar belastningen på makadamens överyta. För ytor med högre trafikbelastning bör kompletteras med ett lager bitumensstabiliserat bärlager eller indränkning av makadamens överyta. Lämplig tjocklek på enhetsöverbyggnaden vid denna typ av undergrund kan anats till cirka 600 mm.

#### Mätning med Argus Öga

Mätning med Argus Öga innebär att vägytan belastas en längre tid (1-2 minuter) än med fallvikt samt med en lägre last (40 kN resp 50 kN). Argusmätningar utfördes vid två olika tillfällen på provytorna A1-A4, B1-B4 och C1-C4. Mätvärdena skilde sig åt mellan mättillfällena.

För att erhålla mätvärden att jämföra med för Argus Öga på ytor såsom parkeringsplatser, gång- och cykelbanor valdes att mäta på ett slumpmässigt urval av äldre och nyare ytor med vanlig grusöverbyggnad i Lund. Ytorna som valdes har varierande ålder och uppbyggnad vilket innebär att uppmätta värden ej kan generaliseras till acceptabla nivåer på nedsjunkning. De erhållna värdena användes enbart för direkt jämförelse mellan öppen respektive tät överbyggnad. Variationer i undergrunden har viss inverkan den uppmätta yt nedsjunkningen.

Denna typ av ytor är ofta anlagda med lägre kvalitetskrav än för gator och vägar. Detta visar sig också i den stora spridning som erhållits i mätvärdena för p-ytor. Lägst nedsjunkning erhöles för p-ytor inom LTH där överbyggnaden består av cirka 8 cm asfaltbetong på grusbärlager och förstärkningsgrus med en total tjocklek av cirka 65 cm, vilket kan sägas vara överdimensionerat för denna typ av yta.

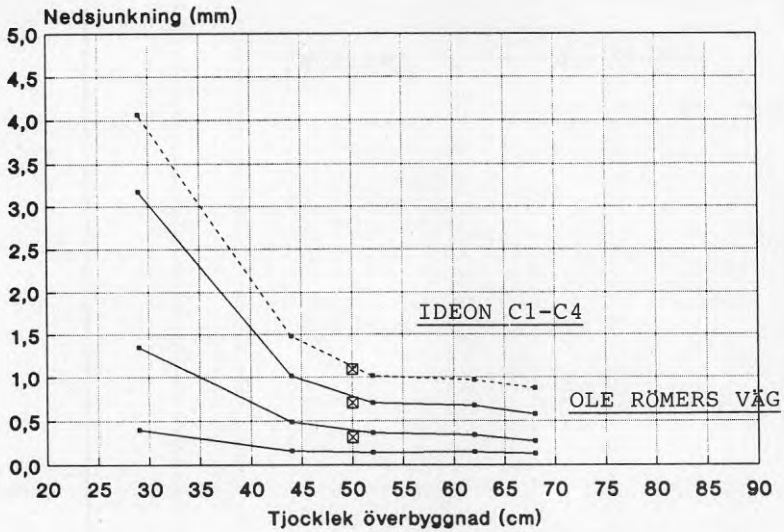
Värdena på nedsjunkning från testytorna C1-C4 inom Ideon ligger inom samma storleksordning som uppmätts på dessa äldre och nyare p-ytor, mellan 0.7-1.8 mm. Se tabell 7.4:3. Värdena som uppmätts på testytorna C1-C4 med Argus Öga är betydligt högre än vad man anger i utländska anvisningar för denna typ av yta. Exempelvis

ger Danska Vejdirektoratet ett gränsvärde på nedsjunkningen till högst 0.65 för aktuell trafikbelastning. Orsaken till de högre värdena med enhetsöverbyggnad är troligen avsaknaden av ett bärlager närmast beläggningen för att ta upp belastningarna på ytan.

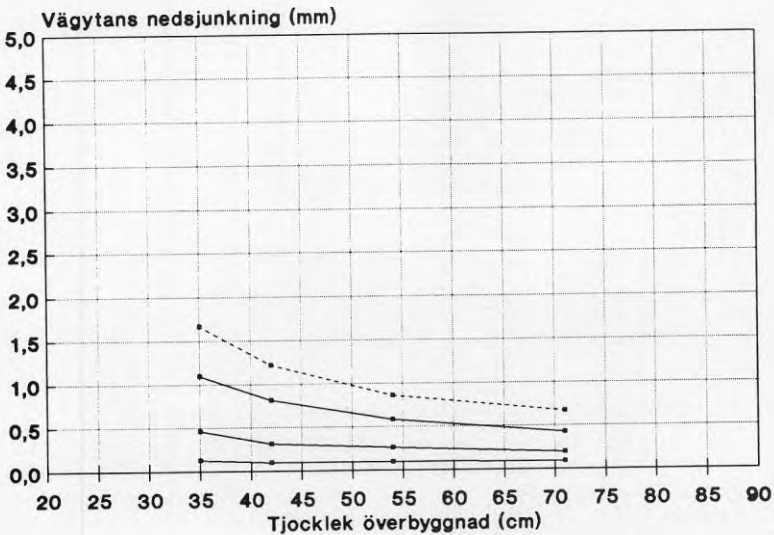
**Tabell 7.4:3 Nedsjunktningensvärden vid mätning med Argus Öga på lågtrafikerade ytor i Lund.**

Typ	Yta	Ålder	Status	Antal punkter	medelvärde	standardavvikelse
P	LTH	>20år	god	8	0.5	0.1
P	Ö Torn	ny	god	3	1.2	0.2
P	Solbyn	ny	god	3	0.7	0.1
P	Tuna	>20 år	dålig	6	0.9	0.2
P	Gunnesbony		god	4	1.8	0.2
P	Alfa-Laval	>20år	dålig	3	1.4	0.1
GC	Bakom KC10-15		Dålig	5	2.4	0.2
GC	Spelmansv10-15		Dålig	5	1.5	0.2
P	C1-C2, Ideon		god	10	0.8	0.1
P	C3-C4, Ideon		god	10	1.4	0.1

Mätningarna med Argus Öga på Ole Römers väg utfördes vid två tillfällen, före och efter en regnfattig sommar. Nedsjunktningensvärdena, D0, vid de två tillfällena visas i figur 7.4:3. Nedsjunktningensvärdena, D0, förefaller vara lägre efter sommarperioden. Detta gäller såväl för makadam i fraktionen 18-70 mm och makadam 32-120 mm. Skillnaden verkar inte vara beroende av tjockleken på makadambärlagret. Den lägre nivån på nedsjunkningen, dvs högre bärighet, beror troligen på att undergrunden var blötare vid mätningen före sommaren och att den torkade delvis upp under sommaren.

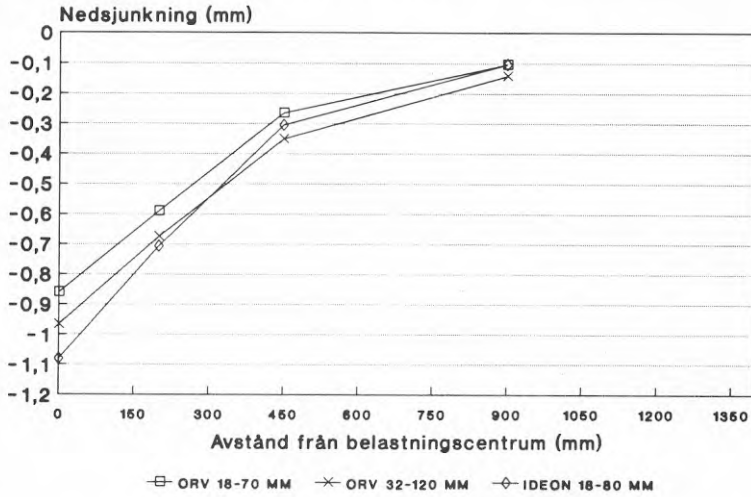


**Figur 7.4:1** Nedsjunktionsvärden från mätning med fallviktsdeflektometer på testytorna i Lund. Makadam i fraktion 18-80 mm.

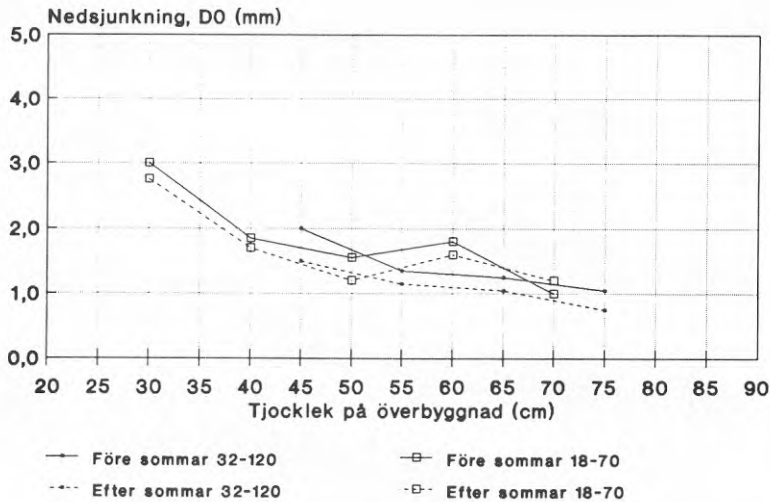


**Figur 7.4:2** Nedsjunktionsvärden från mätning med fallviktsdeflektometer på testytorna i Lund. Makadam i fraktionen 32-120 mm.

## SJUNKTRATT ÖVERBYGGNADSTJOCKLEK 500 MM



**Figur 7.4:3** Exempel på sjunktratt från fallviktsmätning. Tjocklek på överbyggnad cirka 50 cm.



**Figur 7.4:4** Nedsjunksvärden, D<sub>0</sub>, med Argus Öga före och efter sommarperiod. Yta A1-A4 och B1-B5 i Lund samt C1-C4.



## 7.5 VINTERSTUDIER

På en av testytorna i Lund, C3 vid Ideon, och på testytan i Sundsvall mättes överbyggnadens temperatur på olika nivåer från ytan ner i terrassen samt vägytans eventuella lyftning under vintern på grund av nedträngande tjäle. Mätningarna pågick under två olika vintrar, 85/86 respektive 86/87. Resultatet från dessa mätningar redovisas i detta kapitel.

### 7.51 Temperaturmätningar i Lund

I Lund mättes väggkroppens temperatur med åtta vertikala mätstationer varav sex i ytan med enhetsöverbyggnad och två i en intilliggande yta med traditionell grus-bitumenöverbyggnad. Mätstationernas placering och utformning har tidigare beskrivits i kapitel 4.3. På ytan med enhetsöverbyggnad var termoelement utlagda på 5 olika nivåer från vägytan ner till terrassen. Av de sex mätstationerna redovisas mätresultaten från en av dessa eftersom avvikelserna mellan de intilliggande stationerna visade sig vara liten ( $<0.2^{\circ}\text{C}$ ) vid samma mättilfälle. Den station som utvalts har samma placering mitt i körbanan som referensstationerna. De sistnämnda utfördes med åtta termoelement ned till en nivå cirka 75 cm under vägytan.

Från Lund redovisas här endast mätningar från vintern 86/87 som var kall och snöfattig. Mätningarna från vintern 85/86 har ej kunnat utvärderas pga felaktigheter i mätutrustningen. Temperaturmätningarna vintern 86/87 påbörjades den 19 december och avslutades den 3 mars. Det som mättes var morgontemperaturen med en mätning per vecka. Mätningarna utfördes manuellt med bärbar termometer. Luftens medeltemperatur under perioden varierade från  $+1.7^{\circ}\text{C}$  ner till  $-6.6^{\circ}\text{C}$ . Kraftigast var nedkylningen under veckorna 2-3 och vecka 6 när den lägsta lufttemperaturen som uppmättes var  $-21^{\circ}\text{C}$ . I figuren nedan har medtagits en kurva som visas dygnsmedelvärdet på lufttemperaturen uppmätt vid SMHI's mätstation i Lund.

I figur 7.5:1 visas resultat från mätning av temperaturen på en av mätstationerna i yta C3 med enhetsöverbyggnad. Här visas endast tre av fem mätnivåer, strax under asfaltbeläggnings (-4 cm), ungefär halva överbyggnadstjockleken (-28 cm) samt terrassnivån (-48 cm). Som framgår av figuren följer beläggningens temperatur lufttemperaturen och inverkan från uppvärmning pga solinstrålning respektive luftens avkylning är liten i underkanten av beläggnings. Beläggningens temperatur visar samma kraftiga svängningar under mätperioden som lufttemperaturen, från  $+1.3^{\circ}\text{C}$  ner till  $-16.7^{\circ}\text{C}$ . På terrassnivå sker en kontinuerlig nedkylning från  $+6.1^{\circ}\text{C}$  ner till  $-1.0^{\circ}\text{C}$  vid slutet av mätperioden.

Vid referensytan, D1, mättes överbyggnadens temperatur på sju olika nivåer från vägytan ner till en nivå cirka 25 cm under terrassytan.

Vid en jämförelse mellan beläggningstemperatur för de två olika överbyggnaderna, mätstationerna C1:4 respektive D2:2, framgår att den öppna överbyggnaden är mer känslig för svängningar i lufttemperatur än överbyggnaden med tät asfaltbe-

läggning. Se figur 7.5:2. I början av mätperioden är skillnaden större än mot slutet av perioden när dränasfaltens porer innehåller frusen snö. Dessa resultat stämmer väl överens med erfarenheter från mätningar av friktion på ytor med dränerande asfaltbetong där dessa avkyles snabbare än motsvarande täta beläggningar. (Gustavsson, 1986).

Om man jämför temperaturen på terrassnivå framgår att ytan med vanlig tät överbyggnad, D2:2, har kylts ned mer än ytan med enhetsöverbyggnad. Se figur 7.5:3. Vid samtliga mätilfällen har i medeltal terrassytan cirka 2.3°C lägre temperatur än makadamöverbyggnaden, med standardavvikelsen 1.3°C. Den täta överbyggnaden uppvisar minusgrader på nivån -75 cm vid vecka 5, dvs mitt i mätperioden.

De slutsatser som kan göras från temperaturstudierna i Lund är att enhetsöverbyggnaden är känsligare för avkylning i ytan och därmed eventuellt mer halkbenägen. Däremot ger den troligen ett visst värmemotstånd mot nedkylning i förhållande till en tät grus-bitumen överbyggnad.

#### 7.52 Temperaturmätningar i Sundsvall

Parkeringsytan i Sundsvall med varierande utformning av överbyggnaden instrumenterades med en mätstation i varje delyta. Utformningen och placeringen av mätstationer har beskrivits i kapitel 6.3. Mätningar av temperatur utfördes med handburet mätinstrument av RB-konsult i Sundsvall.

Morgontemperaturen mättes en gång per vecka under tre mätperioder från den 7 november till den 3 maj. Ett uppehåll gjordes i mätningarna när överbyggnaden var helt frusen för återupptas när töperioden påbörjades. Den sista mät dagen, 3 maj, mättes temperaturerna med 3 timmars intervall under ett helt dygn (06.30 - 06.30). Resultaten från dessa mätningar redovisas i bilaga 5 samt i den följande texten. Under mätperioden var ytan tidvis täckt med tunt lager snö och is. Ytorna snöröjdes så att ingen isolerande snö skulle ligga på ytan.

I figur 7.5:4 visas temperaturer för ytan med 490 mm enhetsöverbyggnad. Här framgår att beläggnings nedkylning visar större följsamhet med hela överbyggnadens nedkylning till skillnad från resultaten i Lund. Orsaken till detta är sannolikt att beläggnings i Sundsvall var snöfylld och täckt med ett tunt lager snö eller is under hela mätperioden så att luftens inverkan på beläggnings blev liten.

Terrassytan avkyldes från +5.3°C i periodens början ner till -4.4°C i vecka 50-51.

Jämföres temperaturen i underkant beläggning mellan enhetsöverbyggnad och ytan med grus-bitumenöverbyggnad finns det ingen klar tendens till att överbyggnaderna skulle skilja sig åt. Se figur 7.5:5. Detta kan troligen bero på att dränasfaltens porer var frysta som nämnts ovan och på så vis mer liknade en tät asfaltbetong vad gäller temperaturkänslighet. Utstrålningen från underliggande lager, makadam respektive grus-

bärlager, är olika pga materialens olika värmeledningsförmåga vilket kan förklara de skillnader som uppträder i beläggnings-temperatur.

Om man jämför temperaturen på terrassnivå föreligger ingen större skillnad mellan de två överbyggnaderna, med mindre än 1°C skillnad. Se figur 7.5:6. Motsvarande gäller även för en nivå som ligger cirka 20 cm under terrassytan. För samtliga testytor består undergrunden av tjälfarligt material med hög vattenhalt. Detta bidrar troligtvis till att ingen skillnad märktes i avkylningen av de två överbyggnaderna under mätperioden.

Utformningen av enhetsöverbyggnaden varierades på 4 sätt vilket tidigare beskrivits i avsnitt 6.1. I figur 7.5:8 visas temperaturer uppmätta för dess fyra typer på terrassnivån. För överbyggnaden där de nedersta 150 mm av makadambärlagret bytts ut mot 50 mm cellplast och 100 mm isoleringsgrus, understeg terrasstemperaturen inte 0°C under mätperioden.

På de två delytorna där 500 mm av underlaget bytts ut mot icke-tjälfarligt material uppvisade terrasstemperaturen minusgrader. Delyta 5 som fått ett makadambärlager på 990 mm och delyta 4 med 490 mm makadam utlagt på 500 mm A-material. Bägge ytorna gav bättre motstånd mot nedkylning än enbart enhetsöverbyggnad med 490 mm makadam. Det som dock verkar ha mest inverkan på temperaturen var utbytet av underlagsmaterialet. Däremot uppvisar mätningarna inga större skillnader mellan makadamutfyllnad eller grusutfyllnad i underlaget.

### Dygnsmätningar

Temperaturer uppmätta under ett dygn visas i figur 7.5:9 för ytan med 490 mm enhetsöverbyggnad respektive 490 mm grus-bitumenöverbyggnad. Under dygnet steg lufttemperaturen från +4.7°C till 9.7°C. Vädret var klart med svag vind. Den höga yttemperaturen som erhöles av solinstrålningen påverkade temperaturen i beläggningsens underkant först vid slutet av dagen.

### **7.53 Tjällyft**

Under de två studerade vinterperioderna har även testytornas eventuella tjällyftning bestämts genom ytavvägning före, under och efter perioden. Avvägningarna utfördes under bägge vinterperioderna 85/86 och 86/87. Ytorna avvägdes dels punktvis och dels längs med fyra markerade tvärsektioner.

### Sundsvall

Testytorna i Sundsvall uppvisar tjällyftning som stämmer väl överens med resultaten från temperaturmätningar, den yta som uppvisade den största lyftning var också kallast på terrassnivån. Både enhetsöverbyggnaden (490 mm) och grus-bitumenöverbyggnaden, som hade ungefär samma köldförlopp för terrassen under vinterperioden, uppvisade kraftiga tjällyftningar,

mellan 13 till 15 cm. Däremot uppstod ingen mätbar tjällyftning på den yta med enhetsöverbyggnad där man använt cellplastisolerings. Se figur 7.5:9.

För de två ytorna där underlagsmaterialet delvis hade bytts ut varierade lyftningen mellan 4 till 7 cm. För ytan med makadamutfyllnad var lyftningen något mindre, 4-5 cm, och för ytan med grusutfyllnad något större, 6-7 cm.

Mätningarna utfördes under två varandra följande vintrar med ungefär likvärdiga klimat, kallt och relativt snöfattigt. De uppmätta lyftningarna av ytan var lika stora under bägge vintarna. Se figur 7.5:9.

Temperaturmätningarna vintern 85/86 visade på att testytorna var frysta ner till en nivå cirka 115 cm under överytan. Detta innebär att det under överbyggnaderna med tjockleken 490 respektive 990 mm fanns tjälfarligt terrassmaterial som var fruset med tjockleken cirka 70 cm respektive cirka 20 cm. Om man här antar att den tjällyftning som konstaterades på överytan enbart härrör från frysning i det tjälfarliga terrassmaterialet, makadamaterialet utvisar troligen ingen volymutvidgning vid frysning förutsatt att dess porer inte helt är vattenfyllda, kan tjällyftningen bestämmas till cirka 0.2 cm lyftning per centimeter tjälfarligt terrassmaterial under makadambärlagret. Detta kan också uttryckas som att det för varje centimeter tjälfarligt material i undergrunden sker en lyftning av överytan på 0.2 centimeter.

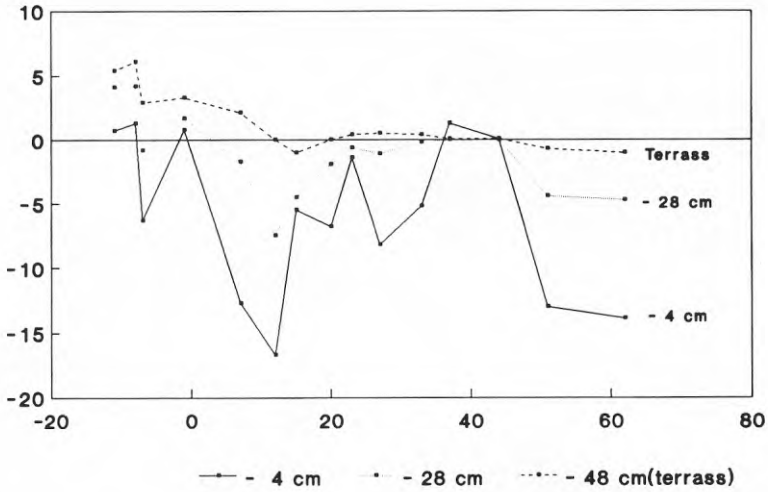
### Lund

Ytavvägningarna i Lund utfördes på ytan med temperaturgivare och på den intilliggande ytan med grus-bitumenöverbyggnad. På vardera yta markerades 4 tvärsektioner valda så att inverkan från intilliggande ytor skulle vara så liten som möjligt. Mätpunkter valdes med ett intervall på 1.2 meter längs dessa tvärsektioner. I figur 7.5:10 redovisas respektive ytas tjällyftning uttryckt som medelvärde av fyra mätpunkter. Tvärsektionen som visas i figuren består från vänster till höger av, SF-sten på grusöverbyggnad, 7 m enhetsöverbyggnad eller grus-bitumenöverbyggnad, 3 m SF-sten på grusöverbyggnad (500 mm). De intilliggande ytorna med SF-sten uppvisade lika stor tjällyftning för bägge ytorna, mellan 2-3 cm.

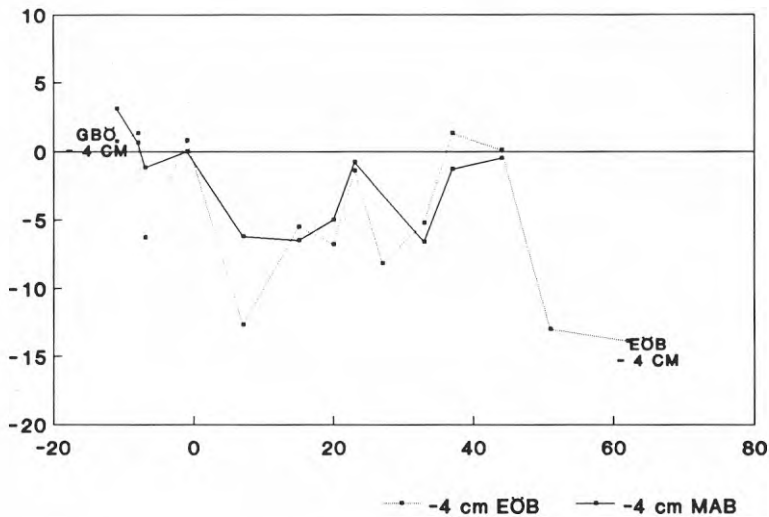
Om man enbart beräknar tjällyftningen på de fem mellersta punkterna i körfältet, där inverkan från SF-stenyterna är minst, erhålles ett medelvärde på tjällyftningen på 3 cm med standardavvikelsen 0.24 cm för ytan med grus-bitumenöverbyggnad. Däremot uppvisade ytan lägre tjällyftning med medelvärdet 1 cm och standardavvikelsen 0.27 cm. Den uppmätta skillnaden stämmer överens med skillnaden i terrass temperatur som registrerades under mätperioden. På ytan med enhetsöverbyggnad erhöles frysning sent under perioden och ytan med grus-bitumenöverbyggnad var frusen ner till en nivå 30 cm under terrassen.

För ytorna i Sundsvall med 990 mm överbyggnad och för ytorna i Lund erhöles en differens på tjällyftning på 2 cm mellan enhetsöverbyggnad och grus-bitumenöverbyggnad. Vid överbyggnadstjockleken 490 mm uppstod ingen sådan skillnad i Sundsvall. Det förutnämnda var väntat och låter sig förklaras. Någon förklaring till att det inte uppstod någon skillnad i Sundsvall med 490 mm överbyggnad har ej funnits.

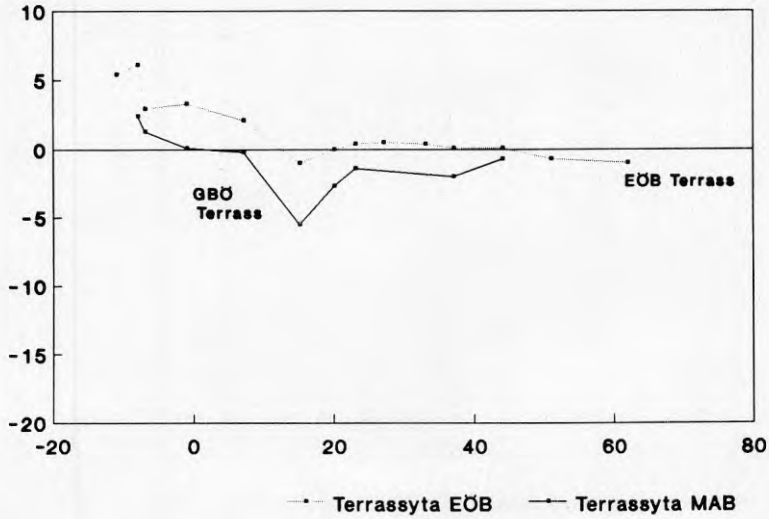




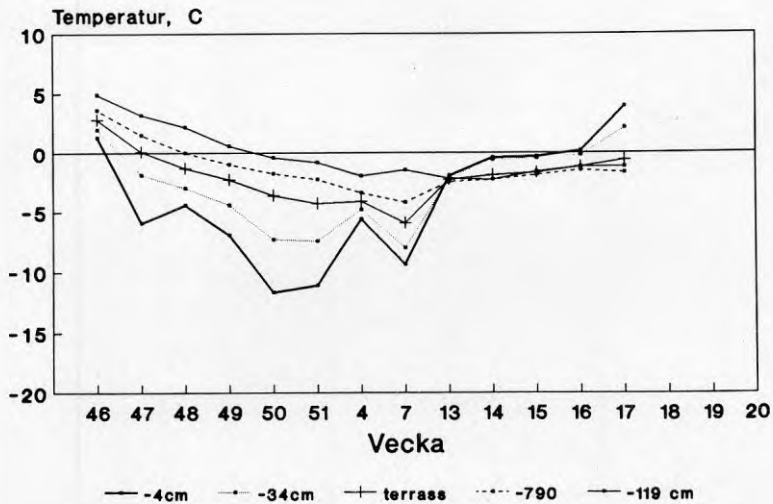
**Figur 7.5:1** Temperatur genom enhetsöverbyggnad. Yta C3 inom Ideon, Lund. (°C)



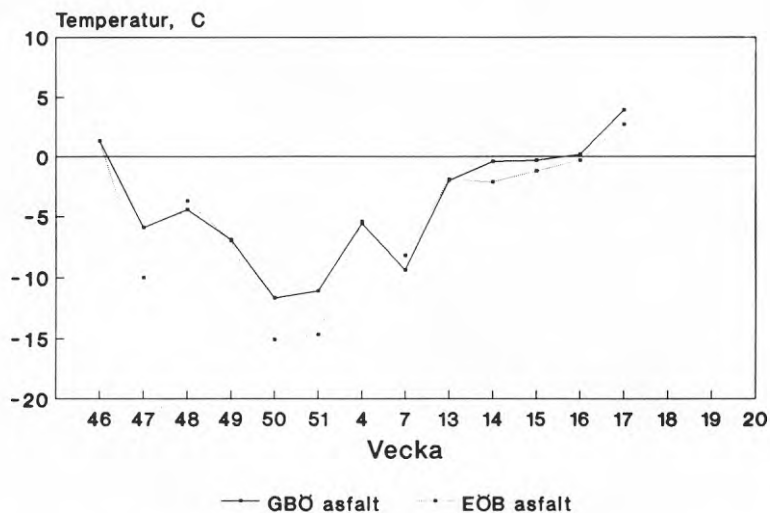
**Figur 7.5:2** Temperatur uppmätt i underkanten av beläggningen för enhetsöverbyggnad och grusöverbyggnad vintern 86/87. Yta C3 inom Ideon, Lund. (°C)



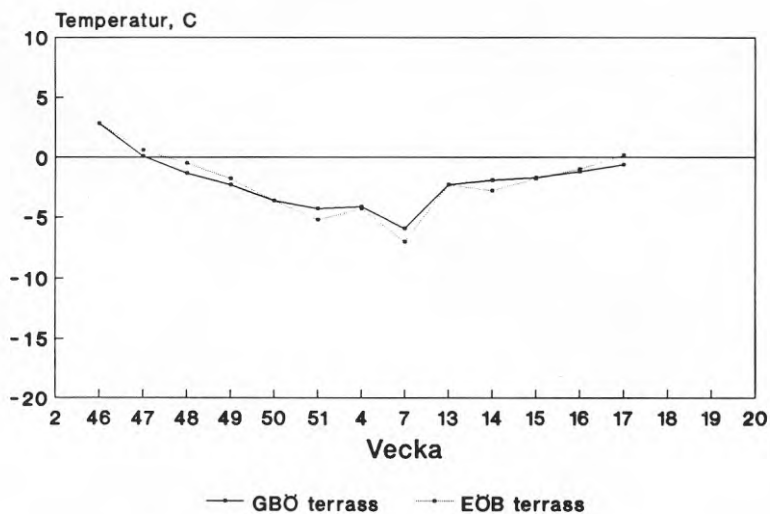
Figur 7.5:3 Temperatur uppmätt på terrassnivå för enhetsöverbyggnad och grusöverbyggnad vintern 86/87. Yta C3 inom Ideon, Lund. (°C)



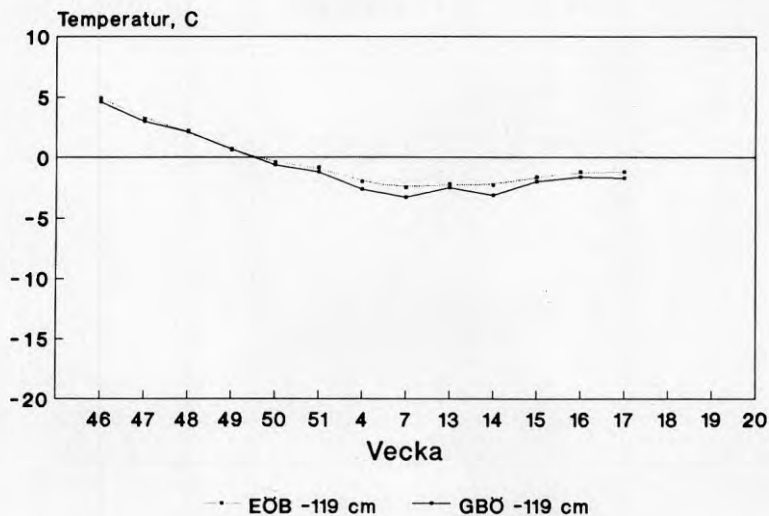
Figur 7.5:4 Temperatur genom enhetsöverbyggnad. Yta E1 i Sundsvall. (°C)



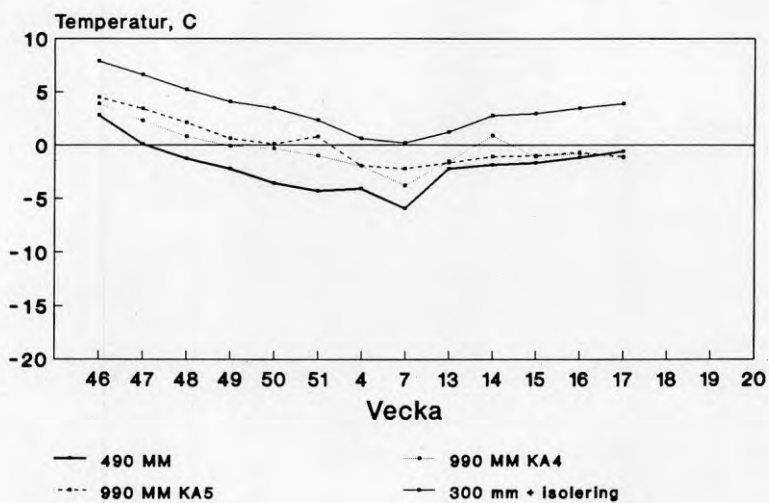
Figur 7.5:5 Temperatur uppmätt i beläggningens underkant för enhetsöverbyggnad och grusöverbyggnad i Sundsvall. Yta E1 respektive F1. (°C)



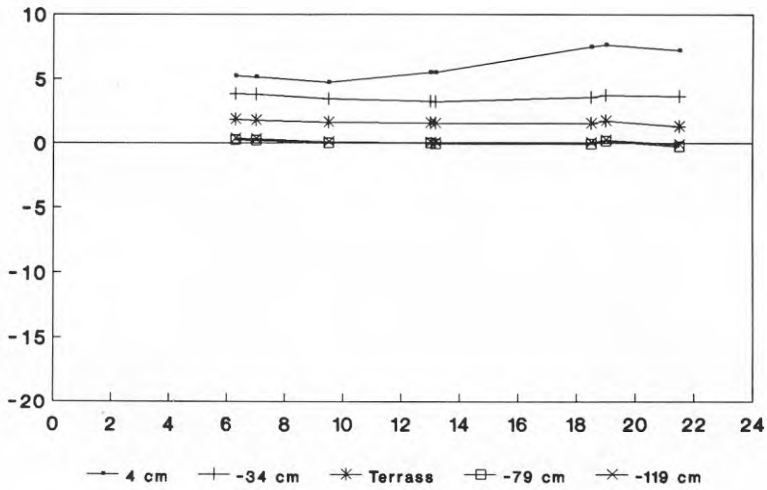
Figur 7.5:6 Temperatur uppmätt på terrassnivå för enhetsöverbyggnad och grusöverbyggnad i Sundsvall. Yta E1 respektive F1. (°C)



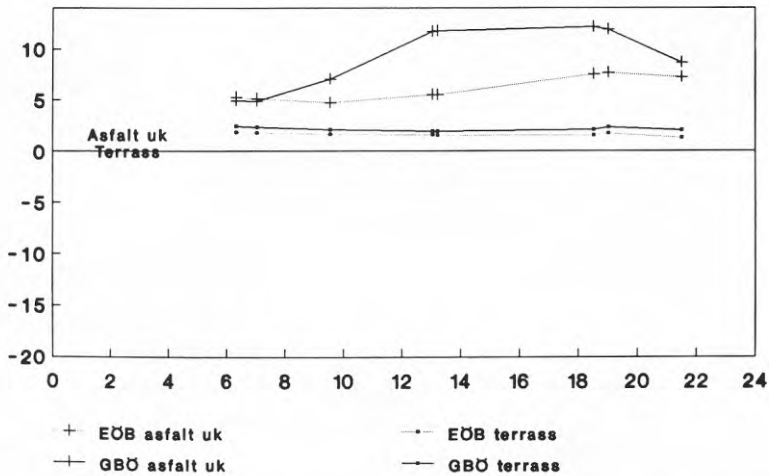
**Figur 7.5:7** Temperatur på nivå cirka 70 cm under terrassen. Ennetsöverbyggnad och grusbitumenöverbyggnad i Sundsvall.



**Figur 7.5:8** Temperaturer genom överbyggnaden på fyra olika typer av enhetsöverbyggnad. (°C)

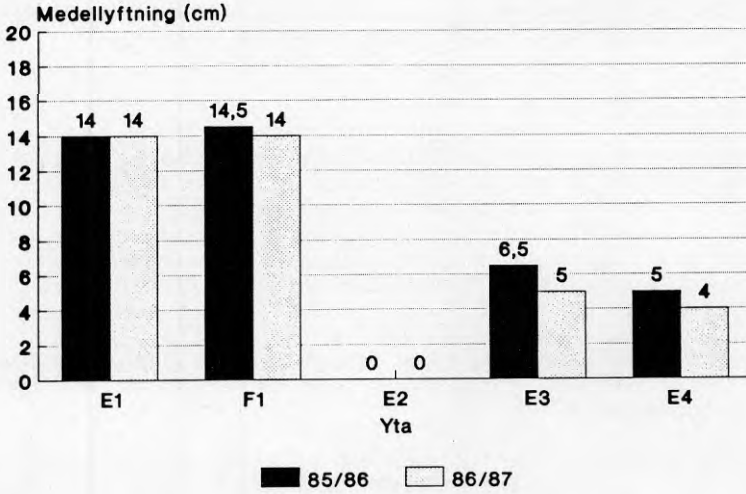


Figur 7.5:9 Dygnstemperatur uppmätt på yta E1 i Sundsvall. (°C)

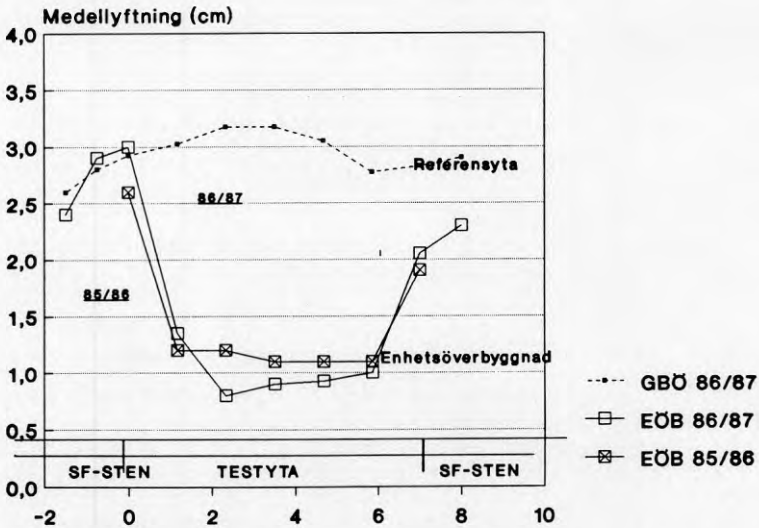


Figur 7.5:10 Dygnstemperatur Sundsvall. Jämförelse mellan enhetsöverbyggnad och grusbitumen överbyggnad. Underkant beläggning och på terrassnivå.





Figur 7.5:11 Tjällyftning mätt i Sundsvall på yta E1-E4 samt F1 under vintrarna 85/86 och 86/87. (cm)



Figur 7.5:12 Tjällyftning mätt i Lund på yta C3 och C4 samt D1 inom Ideon. (cm)

## 7.6 SKADEKARTERING

### 7.61 Ole Rømers väg

Skador på beläggningen har följts upp på provsektionerna på Ole Rømers väg med återkommande okulära besiktningar. De skador som upptäckts har dels uppträtt direkt efter öppnandet för trafiken och efter en viss tids användande. Vidare har långsgående ojämnheter, spår, mäts i varje delyta.

#### Direkt efter utförandet

Entreprenören som skulle utföra beläggningsarbetet justerade underlaget för att erhålla en jämnare utläggning. Avjämningslagret mellan makadambärlagret och beläggningen hade tidigare utförts till avsedd höjd och tjocklek. Dock hade detta avjämningslager trafikerats trots avstängning så att materialet blivit omrört och ojämnt. Detta har tidigare diskuterats i avsnitt 5.3.

Beläggningsarbetena försvårades eftersom det samtidigt skulle slås ned vissa mätrör. Detta hade viss inverkan på uppkomsten av beläggningsskador.

I figur 7.6:1 visas omfattningen av de skador som visade sig när vägen hade öppnats för trafik. Skadorna var mest omfattande i provsektionerna 390-440 i västergående körfält. Mellan sektion 385-400 var beläggningen sönderkrackelerad där överbyggnaden också var som tunnast. Se figur 7.6:2. I sektion 420-440 fanns fläckvis potthål med cirka 0.5 meters diameter.

Dålig sammanhållning mellan stenmaterialet i beläggningens yta konstaterades i ovannämnda sektioner. På stora partier tenderade beläggningen att falla sönder och enbart bestå av lösa stenar med tunn bitumenhinna på. I sektion 340-365 lossnade fläckvis enskilda stenar i beläggningens överyta. Sammanhållningen mellan de två beläggningsdragen i mittfogen var också dålig längs med hela sektionen förutom i sektion 350-365. Se figur 7.6:3.

De konstaterade skadorna på beläggningen beror troligtvis till stor del på felaktig beläggningsmassa med för liten bindemedelshalt samt att packningsarbetet fördröjdes under utförandet.

Skadorna i sektion 380-440 reparerades genom att ett tunt lager med H ABD8 lades ut i oktober 1985.

#### Skador efter ett års användande

Provsektionerna besiktigades på nytt i november 1986. De problem med stensläpp i beläggningen som fanns 1985 i sektion 350-380 var kvar utan att skadan märkbart hade ökat i omfattning. Krackeleringar och stora potthål fanns i sektion 385-400 där överbyggnaden var som tunnast och där motsvarande skada fanns redan 1985. Se figur 7.6:4. I sektion 400-420

fanns diagonala sprickor och tvärgående sprickor i förmodat hjulspår. Omfattningen av skadorna framgår av figur 7.6:5.

Beläggningen var också igensatt i sektion 380-440 som hade omlagts med en dränerande asfaltbetong med mindre porer samt i sektion 350-380 där trafiken i huvudsak hade kört.

### Spår och sättningar

Nedbrytningen av överbyggnader kan följas genom att mäta framväxten av långsgående eller tvärgående ojämnheter, sättningar respektive hjulspår. För att följa eventuell spårframväxt avvägdes testytorna på Ole Römers väg vid två tillfällen, strax efter det att beläggningsarbetet var avslutat och efter cirka ett års användande. Provsträckan hade då utsatts för en trafik om cirka 1100 fordon per dag varav en stor andel utgjordes av lastbils- och busstrafik (22%) samt byggfordon. Avvägningarna utfördes i två tvärsektioner på varje testyta, totalt avvägdes 18 tvärsektioner med ett avstånd på 10 centimeter mellan mätpunkterna.

De tvärgående ojämnheter, spår, som kunde uppmätas redovisas i tabell 7.6:1. Värdena som anges är djupet uttryckt i mm som medelvärdet av det största spårdjupet som uppmättes i höger respektive vänster körfält för de två tvärsektioner som uppmättes på varje delyta. Ett exempel på spår visas i figur 7.6:6.

**Tabell 7.6:1** Största uppmätta spårdjup på provsträcka på Ole Römers väg. Delytor A1-A5 och B1-B5.

Yta	Tjocklek överb.	Max spår 851018 mm	Max spår 861026 mm	Summa spår mm lappad yta
A1	750	3	5	5
A2	650	4	5	5
A3	550	6	8	8
A4	450	6	5	11
B1	300	9	13	22
B2	400	4	8	12
B3	500	3	5	8
B4	600	5	3	8
B5	700	2	4	6

De uppkomna spåren är större än vad som normalt brukar uppträda på denna typ av gata. Trafiken som gått längs med gatan har inte kört "spårbundet" eftersom gatan längs provsträckan hade varierande bredd och inte var målad med körfältsmarkeringar. De uppmätta spåren är relativt breda, över en meter per hjulspår, och kan antas bero på omlagringar i överbyggnadens bär- eller avjämningslager eller i terrassen. Spåren har därför orsakats främst av sättning och efterkomprimering samt i obetydlig omfattning av rent yt slitage.

I figur 7.6:7 visas största spårdjup som en funktion och överbyggnadstjockleken och tiden. Störst spår uppträder där överbyggnaden är som tunnast, 300-450 mm. Spåren i sektion 410-439 med finare makadambärlager är något större än spåren

för motsvarande sträcka 350-379 med det grövre makadammaterial.

Där överbyggnaden var som tunnast och där den var helt sönderkrackelevad efter ett års användande grävdes en provgrop för provtagande av fiberduk och för bedömning av terrassen. Som framgår i figur 7.6:8 uppvisar terrassen inga tecken på omrörning.

#### 7.62 Ideon P-plats

Efter det att samtliga byggnadsarbeten intill testytorna var avslutade och strax innan ytorna C1 och C2 revs upp besiktigades ytorna C1-C4 okulärt och förekommande skador karterades. De ytligt liggande hålrummen i den öppna beläggningen var helt igensatta av ler- och jordpartiklar vilket framgår av figur 7.6:9. Igensättningen var störst på ytorna C1 och C2 vilka användes som transportvägar.

På ytorna C1 och C2 fanns fläckvisa krackeleringar i de spår där byggfordonen och lastbilar hade kört. En typisk krackelering visas i figur 7.6:10. Denna skada beror förmodligen på dålig bärighet i överbyggnadens övre del.

Längsgående sprickor och sättningar förekom längs med dessa två testytor i spåren. Fyra tvärsektioner valdes ut för att mäta upp storleken på dessa sättningar. Denna mätning gjordes med rätskiva och linjal efter det att beläggningen borstats ren. Resultaten från denna mätning visas i tabell 7.6:2. Störst sättning uppmättes vid början av delyta C1 där i huvudsak all byggtrafik kom körande ifrån. Sättningen var här som störst 48 mm och som minst 16 mm längs tvärsektionen. De tre övriga sektionerna som togs längre fram på yta C1 och C2 visade sättningar mellan 3 till 28 mm.

**Tabell 7.6:2** Uppmätt sättning på yta C1 inom Ideon, Lund, efter cirka ett års användande. Enhet mm.

Avstånd från vänster kant	Sektion			
	9	12	20	29
0	0	0	0	0
0.5	0	0	0	0
1.0	0	0	0	0
1.5	0	0	0	0
2.0	24	25	5	4
2.5	48	15	15	16
3.0	36	10	11	18
3.5	16	5	3	15
4.0	21	8	2	20
4.5	22	8	4	26
5.0	22	5	5	20
5.5	25	28	6	16
6.0	24	28	3	19
6.5	16	12	4	14
7.0	4	5	2	6

Omfattningen av sättningar och sprickor samt den svåra nedsmutsningen indikerar att ytan skulle ha skyddats under byggnadstiden.

En provgrop grävdes i yta C1 där skadorna var mest omfattande för att ta prov på överbyggnadsmaterialen samt för att kunna bedöma orsaken till skadornas uppträdande. Vid uppgrävningen kunde ingen påverkan på makadam eller fiberduk iakttas. Se figur 7.6:11a-b och avsnitt 7.1122.

Makadamprovet siktades i avd Vägbyggnads laboratorium och kornkurvan bestämdes för det uttagna provet som vägde 70.6 kg. Av bärlagermaterialet var 15.8 viktprocent mindre än 11,3 mm. Kornkurvan framgår av tabell 7.6:2.

**Tabell 7.6:3** Kornkurva för bärlagermakadam använt på testyta C1 inom Ideon, Lund.

Passerar sikt (mm)	Viktsprocent
70.0	100.0 %
32.0	80.2 %
19.0	38.3 %
16.0	31.8 %
11.3	15.8 %
8.0	4.6 %
5.6	2.8 %
4.0	1.9 %
1.0	1.2 %

### 7.63 Sundsvall

När ombyggnadsarbetena inom hela bostadsområdet inklusive den speciellt utformade testytan var avslutade besiktigades ytan av Uno Wohlin från Riksbyggen konsult och förekommande skador dokumenterades med foto. Besiktningen utfördes efter den första vinterperioden.

De upptäckta skadorna på beläggningsen och överbyggnaden kan i huvudsak anses som utförandeskadorna och skador pga underhållsätgärder. På följande sidor visas några exempel på skador som fanns vid besiktningstillfället.

Den dränerande beläggningsen var igensatt och nedsmutsad på en stor del av de hårdgjorda ytorna. Framst var detta märkbart på de körvägar som gick inom området och där vissa byggtransporter kört efter det att beläggningsen utförts. Se figur 7.6:12. Även nedsmutsning i form av oljespill förekom på en parkeringsplats. Se figur 7.6:13. Här har uppenbarligen någon kommit på finessen att byta olja utan att behöva ta hand om något oljespill.

Avsaknad av kantmotstöd gav längs körväg upphov till kraftiga sprickor och sidoförskjutningar. Se figur 7.6:14.

Skador som uppkommit p g a tjälprocesser fanns dels inom några parkeringsytorna med ojämn tjällyftning över ytan samt vid en



rännstensbrunn där omkringliggande överbyggnad lyfts över brunnens nivå. Se figur 7.6:15 och 7.6:16.

#### 7.64 Äldre ytor

Samtliga äldre ytor har besiktigats avseende skador på överbyggnad och beläggning. Resultaten har redovisat i rapporten Enhetsöverbyggnad efter några års användande (Hogland et Wahlman, 1988) och refereras i korthet i det följande.

Ingen av ytorna uppvisade skador som sprickor, krackeleringar eller större sättningar som kunde vara tecken på en svagare konstruktion. Endast inom ett område, Taggtickan nedre, förekom lokala sättningar längs med en dräneringsledning i terrassen samt vid infarten till parkeringsplatsen.

Sammanlagt 30 borrhövar togs på beläggningen från 10 av studerade områdena. Av borrhövarna har 19 st analyserats avseende beläggningens tjocklek och hålrumsvolym. Ur borrhövarna togs även prov på avjämningsmaterialet och avståndet mellan asfalten och makadamgasinet mättes.

I tabell 7.6:4 redovisas resultaten från mätningarna av tjockleken på beläggningen och på avjämningslagret. Tjockleken på beläggningen anges som minsta respektive största värde samt medeltjockleken av fem mätningar av tjockleken på borrhövet.

Beläggningen uppvisar ingen jämn tjocklek utan skillnaden mellan största och minsta värde på tjockleken hos enskilda borrhövar kan variera från 7 till 34 mm. Medeltjockleken på borrhövarna är med undantag från proverna från Spårvagnshallarna 40.6 mm med en standardavvikelse på 6.6 mm.

Den stora variationen i tjocklek bekräftar uppgifter från flera entreprenörer om att åtgången av asfaltmassa ofta är större än vad som angivits i bygghandlingar när denna dränasfalt utlägges på ett obundet makadamlager. Variationerna kan bero på spårbildning och omlagring i överytan på makadamlagret vid utläggningen eller på att avjämningslagret inte är korrekt utfört. Fel makadamfraktion och otillräcklig komprimering kan ge denna typ av skada.

Tjockleken på avjämningslagret varierade kraftigt från 0 till 200 mm. I Taggtickan nedre var avjämningslagret för tjockt i förhållande till fraktionen 16-20 mm. Detta bekräftar det som sagts ovan om orsaken till att sättningar uppträtt i området.

Avjämningslagret skall utföras i ett lager som är mindre än 30 mm och helst endast så att större håligheter i makadamens överyta fylls ut. Mätningar i borrhövarna tyder på att tjockleken ofta översiger 30 mm. Detta kan medföra att lagret kan uppträda instabilt framförallt om en kort fraktion på stenmaterialet användes. Sprickor och sättningar kan då uppträda i beläggningen vid normal trafikbelastning.

**Tabell 7.6:4** Tjocklek av borrhärnor, tjocklek avjämningslager samt uppmätt fraktion på avjämningsmaterialet.

Yta	Prov nr	Tjocklek (mm)				Avjämnings(mm)	
		min	max	h	medel	tjocklek	fraktion
Nödinge, yta A	1	47	58	11	51	29	0 -20
	2	26	46	20	38	27	0 -20
	3	35	43	8	40	-	. -
Nödinge, yta B	1	13	47	34	31	5	20-24
	2	25	51	26	35	35	20-24
	3	45	50	5	47	-	. -
Nödinge, yta C	1	32	53	21	46	154	11-20
Bohus, yta C	1	30	37	7	34	-	. -
Åby travbana	1	33	45	12	36	44	16-20
	2	34	47	13	41	79	16-20
	3	23	48	25	38	62	20-24
	4	25	40	15	34	-	. -
	5	40	50	10	45	-	. -
	6	25	38	13	30	-	. -
	7	48	52	4	50	-	. -
Glasberget, nedre	1	36	52	16	43	30	16-20
	2	41	51	10	47	43	0 -20
Glasberget, övre	1	34	44	10	38	42	16-20
	2	25	45	10	35	75	16-20
	3	32	51	19	39	81	16-20
	4	25	46	21	34	46	16-20
	5	35	43	8	39	-	. -
	6	30	40	10	36	-	. -
Taggtickan, nedre	1	41	56	15	50	200	16-20
	2	47	63	16	55	190	16-20
	3	38	54	16	47	53	16-20
Spårvagnshallarna, inne	1	75	83	8	78	-	. -
	2	63	70	7	67	-	. -
Digesgård	1	31	50	19	42	0	. -
	2	17	50	23	35	30	11-16

I tabell 7.6:5 visas resultaten från bestämning av hålrumsvolymer hos de enskilda borrhärvor. Hålrumsvolym för dränasfalt anges vanligtvis ligga mellan 15-24 volymsprocent. För borrhärvorna uppmättes en variation i hålrumsvolym mellan 15.3 till 30.4 volymsprocent. I medeltal var hålrumsvolymer för borrhärvorna 22.3 volymsprocent. Den något höga hålrumshalten tyder på att en fullgod packning av beläggningen inte har utförts för flera av ytorna. Det ska dock påpekas att den höga hålrumshalten bidrar till att öka beläggningens infiltrationskapacitet.

**Tabell 7.6:5** Hålrumsvolym, kompaktdensitet, skrymdensitet och bindemedelshalt hos borrkärnor av dränasfalt.

Yta	Prov nr	Skrymdensitet g/cm <sup>3</sup>	Kompaktdensitet g/cm <sup>3</sup>	Hålrums- volym volyms-%	Bindeme- delshalt vikts-%
Nödinge, yta A	1	1.99	2.48	19.8	6.0
	2	2.05	2.52	18.7	5.2
	3	-	-	-	-
Nödinge, yta B	1	2.0	2.40	16.7	4.9
	2	1.75	2.54	31.1	5.8
	3	-	-	-	-
Nödinge, yta C	1	1.71	2.51	31.9	5.3
Bohus, yta C	1	-	-	-	-
Åby travbana	1	2.04	2.59	21.2	5.6
	2	1.91	2.48	23.0	5.7
	3	1.8	2.48	25.0	5.3
	4	-	-	-	-
	5	-	-	-	-
	6	-	-	-	-
	7	-	-	-	-
Glasberget, nedre	1	1.83	2.63	30.4	5.5
	2	2.04	2.60	21.5	5.3
Glasberget, övre	1	2.03	2.53	19.8	5.5
	2	1.85	2.47	25.1	5.5
	3	1.95	2.56	23.8	5.0
	4	1.93	2.63	26.6	6.2
	5	-	-	-	-
	6	-	-	-	-
Taggtickan, nedre	1	2.04	2.36	13.6	4.7
	2	2.11	2.49	15.3	5.6
	3	1.98	2.59	23.6	5.6
Spårvagnshallarna inne utomhus	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
Digesgårda	1	1.73	2.38	27.3	6.1
	2	1.72	2.33	26.2	5.2

På samtliga studerade ytor har nedsättningar i belägningens dränerande funktion kunnat konstateras. Den nedsatta vattengenomsläppligheten beror främst på någon typ av nedsmutsning som lett till igensättning av dess överyta.

Igensärningen varierar areellt beroende på hur nedsmutsningen har skett. Helt igensatta partier har konstaterats på nästan samtliga studerade ytor. Dessa har varit begränsade i sin

omfattning och har ibland lett till lokala pölbildningar i lågpunkter. På helt igensatt beläggning har vattnet runnit på ytan till närmaste icke igensatt yta.

Orsakerna till att de ytliga porer i beläggningen sätts igen kan indelas i följande:

- nedsmutsning av byggfordon och byggmaskiner under byggnadsskedet
- lagring av jord- eller byggmaterial på ytan
- ytavrinning från intilliggande ytor eller rabatter
- nedsmutsning från fordon
- slitage av beläggning och däck
- atmosfäriskt nedfall, snö och stoftnedfall
- halkbekämpning vintertid
- sopning och borstning
- övrigt

Tillrinning av jord- och växtsediment sker ofta från intilliggande grönytor eller rabatter även om kantsten avgränsar asfaltytan. Man bör förhindra att ytavrinning sker in på asfaltytorna och använda klistrade kantstenar för att förhindra att sediment rinner i asfaltens överyta under kantstenen. Det är dock idag vanligt att kantstensstöden slopas av kostnadsskäl.

Fordon drar med sig sediment från andra ytor in på den öppna beläggningen. Detta sker speciellt när en obelagd väg ansluter till en yta med enhetsöverbyggnad. Ett par meter in på den öppna beläggningen blir då asfaltens öppna porer helt igensatta. Detta sker även i infarterna till parkeringsplatser. På samtliga studerade ytor har beläggningen i infarten varit helt eller delvis igensatt.

De sediment som finns i beläggningen packas vid passage av fordonsdäck. Detta gör beläggningen svårare att rengöra så att genomsläppligheten kan hållas hög. För att förhindra en alltför hård packning av sedimenten rekommenderas att man regelbundet rengör asfalten på sådana ytor där kraftig nedsmutsning kan förekomma.

Det har inte kunnat konstateras någon igensättning av asfalten som skulle bero på slitageprodukter från beläggningen och/eller fordonsdäck. Detta slitage uppträder troligen främst vid trafik med högre hastigheter.

Även i luften sker en transport av jordpartiklar och stoft som bidrar till igensättning av asfalten. Detta är främst märkbart på ytor som ligger i närheten av jordbruksmark eller stora öppna jordområden.

Metoderna för barmarksrenhållningen har varierat på de studerade ytorna. Underhållsmetoderna har bestått av sopning och vakuumdamsugning. Några märkbara effekter av dessa åtgärder på asfaltens vattengenomsläpplighet har inte kunnat konstateras. Tvärtom tyder resultaten från testytorna i Lund på att graden av igensättning ökas av vissa renhållningsåtgärder.

Den vanligaste metoden för halkbekämpning på öppna beläggningar är sandning med krossmaterial i fraktionerna 2-4 eller 4-8 mm. Efter vinterperiodens slut sopas detta material upp. På vissa av ytorna har vanlig sand använts vilket gjort dessa ytor kraftigt igensatta. Prover på krossmaterialet togs från några ytor. Ett prov togs på uppsopat krossmaterial. Detta material bestod huvudsakligen av stenar större än 2 mm vilket tyder på att mindre stenmaterial inte går att sopa upp utan stannar kvar i asfaltens yta. Tre prover som togs ur sandboxar som stod på områdena visar på att krossmaterialet innehåller upp till 10 % finmaterial, dvs material mindre än 2 mm.

Det utspridda materialet utsätts för nedkrossning av fordonsdäck och på så sätt kan igensättningen öka. Detta gäller speciellt om stenmaterialet är krossningsbenäget.

### 7.65 Fiberdukens tryckhållfasthet

Tryckhållfasthetsmätningar på fiberduken utfördes av TEFO (Svenska Textilforskningsinstitutet) i Göteborg. Tryckhållfastheten bestämdes enligt DIN 543 07. Provningsutfördes i normal provningsatmosfär 65 +/- 2% relativ fuktighet och temperaturen 20 +/- 2°C och provningsmaterialet konditionerat till jämnvikt i samma atmosfär. Provkropparnas storlek var 25x25 cm.

På provytorna inom IDEON användes en fiberduk av typ polyeten TS 500 medan en fiberduk av typ Rawlplug användes i Ole Römers väg samt i testboxarna i laboratoriet. Resultatet från provtryckningarna visas i tabell 7.6:6. Det kan konstateras att tryckhållfastheten hos den fiberduk som användes i Ole Römers väg och i testboxarna är lägre och mindre deformationsbenägen än den som användes i parkeringsytorna i IDEON. Se även avsnitt 7.132.

**Tabell 7.6:6** Tryckhållfasthet hos fiberduk från testyta C1 och A5 i Lund.

	Fiberduk Ideon			Fiberduk Ole Römers väg		
	Mv	V	n	Mv	V	n
Genomtryckskraft						
Fb N:	1594	330	5	1230	408	4
Deformation, % vid viss kraft:						
100 N	5.7	2.9	5	2.0	0.6	4
500 N	14.2	3.7	5	9.0	1.4	4
1000 N	25.5	5.2	5	24.3	6.8	4
1500 N	39.6	4.9	4	-	-	-
Fb-300 N	34.0	6.4	5	20.5	8.6	4
Fb	46.2	9.8	5	47.5	16.1	4

Mv =medelvärde

W =variationsvid (skillnad mellan högsta och lägsta värdet)

n = antal bestämningar



Efter cirka ett års användning av yta nr C1 i Ideon grävdes en bit fiberduk för provtryckning.

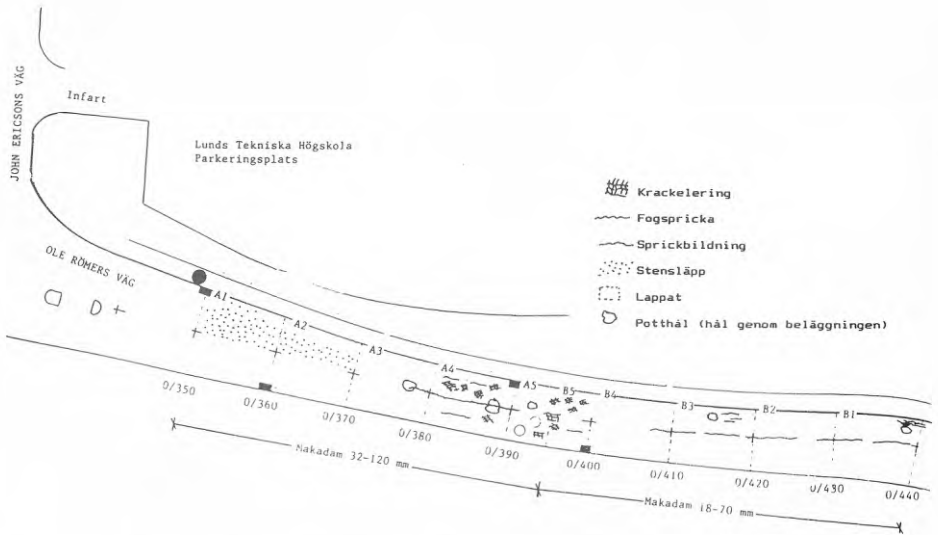
Värdena på tryckhållfastheten som uppmättes visas i tabell 7.6:7. Resultaten visar att genomtryckskraften har minskat under året som ytorna använts jämfört med medelvärdet för ny fiberduk. Minskningen kan dock innefattas i den variationsvidd i tryckhållfasthet som ny fiberduk har. En ökad styvhet hos fiberduken kan också skönjas.

**Tabell 7.6:7** Tryckhållfasthet hos fiberduk efter cirka ett års användande. Yta C1 inom Ideon, Lund.

Genomtryckskraft, Fb N: 1240

Deformation, %  
vid viss kraft:

100 N	3.5
500 N	11.8
Fb-300 N	22.4
Fb	33.3



Figur 7.6:1 Skadekartering Ole Römers väg, efter 1 månad.



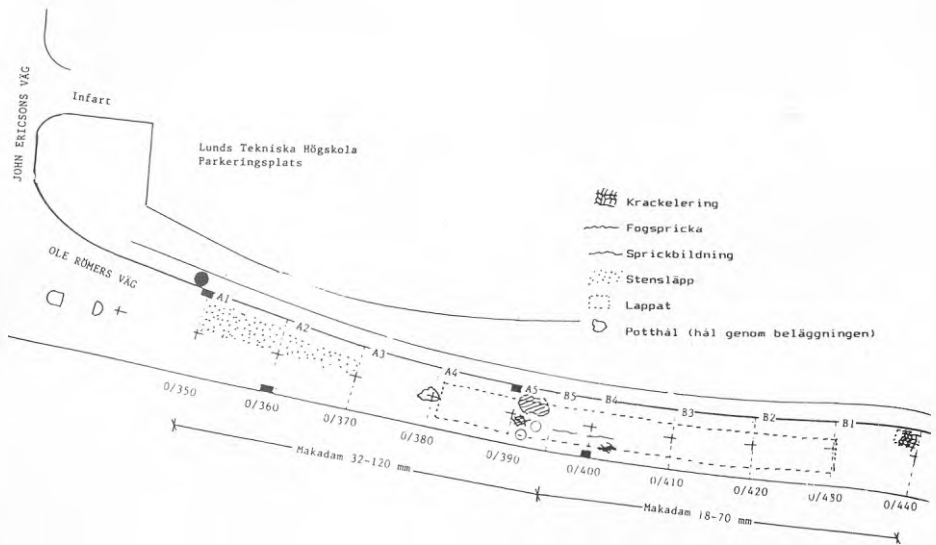
Figur 7.6:2 Söndrig överbyggnad i Ole Römers väg efter cirka 1 månads användning. Sektion 390.



**Figur 7.6:3** Dålig sammanhållning av beläggningsen i fogen mellan två utläggningsdrag.



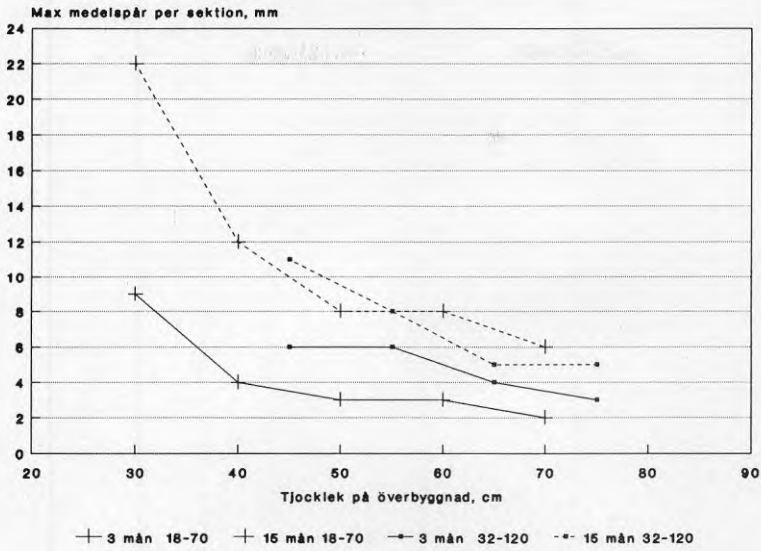
**Figur 7.6:4** Potthål i sektion 380 i Ole Römers väg efter lappning och cirka ett års användande.



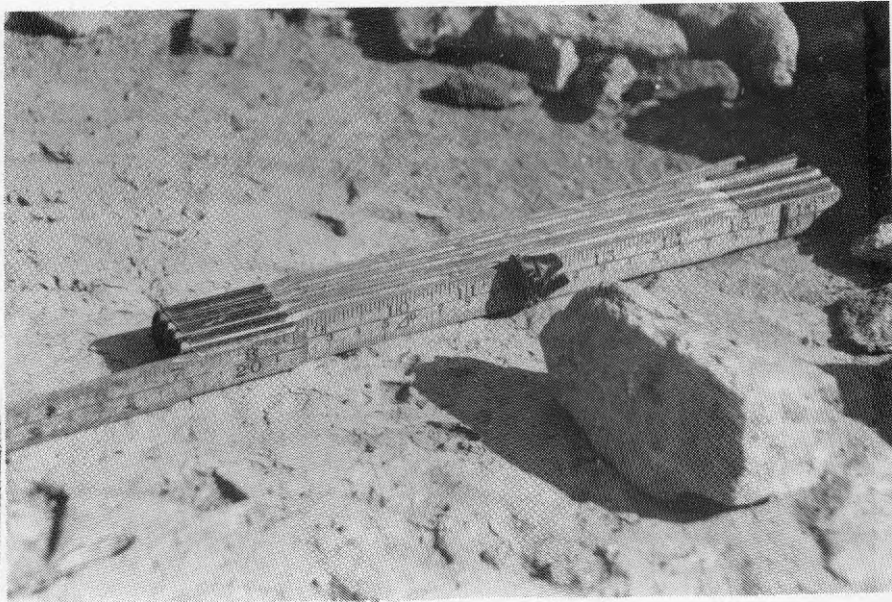
Figur 7.6:5 Skadekartering Ole Römers väg, efter cirka ett års trafikering.



Figur 7.6:6 Exempel på spår vid sektion 395 på Ole Römers väg cirka 6 månader efter öppnande.



**Figur 7.6:7** Största uppmätta spår på Ole Römers väg som funktion av tjockleken på enhetsöverbyggnaden.

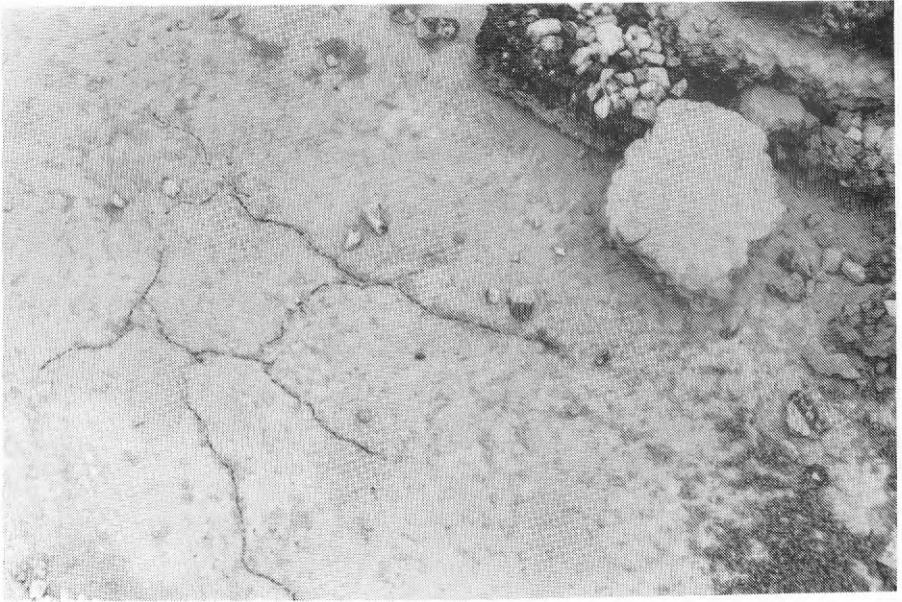


**Figur 7.6:8** Terrassen på Ole Römers väg sektion 391 efter borttagande av fiberduk.

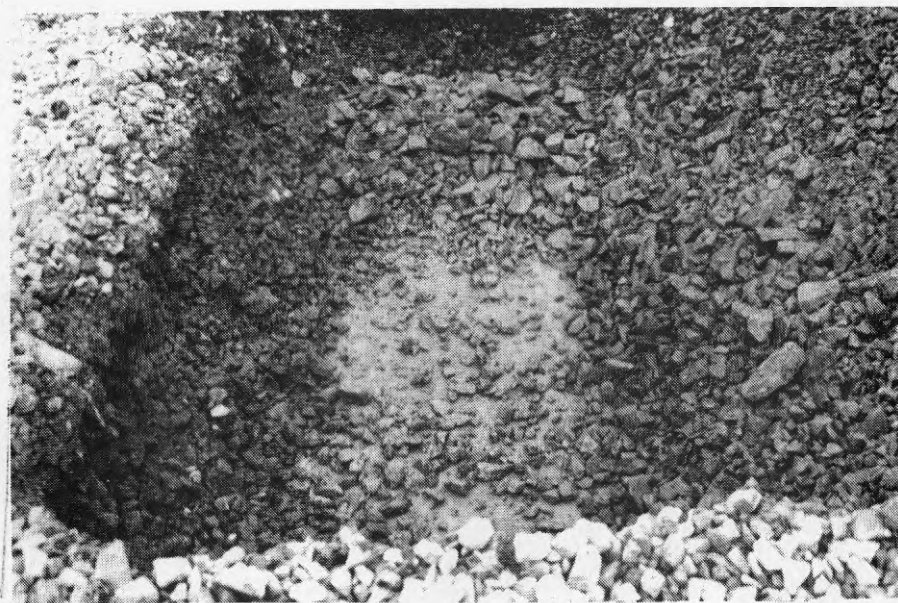




**Figur 7.6:9** Nedsmutsad köryta, C1-C2, inom ideon, Lund.



**Figur 7.6:10** Krackelering på yta C1 innan ombyggnad.



**Figur 7.6:11a** Uppgrävning av yta C1. Ur bilden framgår makadambärlager och fiberduk.



**Figur 7.6:11b** Uppgrävning av yta C1. Beläggning nedsmutsad av oljespill samt överyta makadambärlager.



**Figur 7.6:12** Kraftigt nedsmutsad köryta med dränerande asfaltbetong inom bostadsområdet Finsta i Sundsvall.



**Figur 7.6:13** Oljespill på parkeringsplats med enhetsöverbyggnad. Finsta, Sundsvall.





**Figur 7.6:14**

Skada på köryta  
med enhetsöverbyggnad  
i Finsta, Sundsvall.  
Avsaknad av kantmotstöd har  
här gett en svag kant.



**Figur 7.6:15** Ojämn tjällyftning på parkeringsyta med enhetsöverbyggnad i Finsta, Sundsvall.



**Figur 7.6:16**

Ojämn tjällyftning vid  
dagvattenbrunn på köryta  
med enhetsöverbyggnad i  
Finsta, Sundsvall



## 7.7 RENSNINGSFÖRSÖK AV DRÄNERANDE ASFALTBETONG

### 7.71 Vanliga rensningsmetoder

Eftersom testytorna inom Ideon, Lund, blev kraftigt nedsmutsade under byggnadsskedet var det naturligt att försöka rengöra dessa efteråt. Inledningsvis användes traditionell gatusopningsutrustning. Se figur 7.7:1. Stora delar av de löst sittande partiklarna borstades bort med hjälp av denna utrustning men gav föga djupgående effekt. Försöket fick dock avbrytas eftersom det dammade i sådan omfattning att skyddsombudet förbjöd en fortsättning av försöket.

Försök gjordes därefter med annan gatusopningsmaskin som är vattenbaserad och med vakuumpptagning, typ Schörling. Se figur 7.7:2. Resultatet blev dock sämre än med torr sopning. Asfaltens porer blev härigenom fullständigt igensatta. Se figur 7.7:3a-b.

Någon förhöjning av infiltrationskapaciteten erhöles inte med dessa rengöringsmetoder. Detta kunde också konstateras i samband med inventeringen av äldre ytor (se Hogland och Wahlman, 1988).

I bostadsområdet Taggtickan utanför Göteborg har regelbunden rengöring av asfaltytorna med traditionell rengöringsutrustning genomförts en gång per månad. Ytorna inom Taggtickans bostadsområde befanns ej vara i bättre kondition än övriga inventerade ytor. Huruvida området redan under byggnadsskedet blivit igensatt eller ej, dvs före den månatliga rengöringen påbörjades, har ej kunnat fastställas.

Senare har ett rengöringsförsök genomförts med två prototyper av ny rengöringsutrustning. Försöken genomfördes i samarbete med Bröderna Brodd AB och Göteborgs kommun. Testförsöken genomfördes på parkeringsyta A inom Nödinge. Resultaten har redovisats separat (se Hogland et al, 1987)

I USA rekommenderar man regelbunden rengöring av dränerande asfaltytor med utrustning baserad på vakuumsugning. Normalt anser man att dessa ytor behöver mer skötsel än traditionella överbyggnader. I samband med kraftigt snöfall bör ytorna skrapas för att undvika igensättningsproblem i samband med snösmältningen.

Enligt erfarenheter från USA har ingen tillgänglig rengöringsmetod varit tillfredsställande på fullständigt igensatta beläggningar. Endast ytor som har en infiltrationskapacitet på över 150 mm/min kan uppnå full infiltrationskapacitet igen vid rengöring med nuvarande typer av rengöringsutrustning. Det bästa resultatet uppnås med en roterande borste och en vakuumsugning följt av högtryckspolning. Oljan i asfalten binder smuts men det kan vara tillräckligt med en avskrapning tillsammans med en tvättning för ett effektivt borttagande av smutsen (se WRA, 1984).

### 7.72 Renspolningsförsök med handutrustning

Efter de misslyckade ansträngningarna att rengöra de nedsmutsade ytorna med traditionell sopningsutrustning återstod försök med högtryckspolning för hand. Utrustningen som användes var en vanligt hobbyaggregat och gav ett maximalt tryck på 6 bar. Spolningen genomfördes i åtta punkter på vardera testyta nr C1 (DRAINOR) och nr C3 (HABD).

Igensättningen på respektive yta vid försökets början framgår av figur 7.7:4. Försöken genomfördes i juni 1986 och då hade yta nr C1 använts under 1 år och yta nr C3 i 2 år. Den senare nämnda hade dessutom utsatts för mycket kraftig nedsmutsning under byggnadsskedet, dvs under första året.

Renspolningen på yta med DRAINOR (C1) gick relativt lätt. Se figur 7.7:4. Redan efter en spolning uppnåddes infiltrationskapaciteten cirka 200 mm/min i de flesta punkter. Motsvarande värden för den kraftigt nedsmutsade HABD-ytan (C3) var 20 mm/min. Renspolningens effektivitet på de båda ytorna redovisas i figur 7.7:5.

Den slutliga infiltrationskapaciteten på HABD-ytan (C1) dvs när mer än 20 spolningar gjorts blev 100-140 mm/min. Dessa värden kan efter förhållandena anses som tillfredsställande.

På DRAINOR-ytan (C1) uppnåddes hög genomsläpplighet vid försöken slut, mellan 420-730 mm/min. Det högre värdet ger antydningar om att skada kan ha uppstått på asfalten vid renspolningen. Några synbara skador kunde dock ej konstateras. På stenarna i beläggningen fanns synbart samma bindemedelmängd kvar som före försökets början. Motsvarande gällde för beläggningen med HABD.

Erfarenheterna från renspolningen av den kraftigt nedsmutsade ytan (C3) stämmer väl överens med erfarenheter från USA. Där har man funnit att när asfalten varit helt igensatt ner till nivån ca 15 mm från ytan kan ej full infiltrationskapacitet återfås genom högtryckspolning (se WRA, 1984).

Ur beläggningen på yta C4 (HABD) och yta C1 (DRAINOR) togs 10 borrprover för försök med rengöring av den igensatta beläggningen i laboratorium. Resultaten från rengöring i laboratorium överensstämmer väl med försöken i fält. Samtliga borrprover var igensatta med infiltrationskapacitet lägre än 20 mm/min, förutom ett som togs i yta C1 intill kanten ungefär mitt på körytan. Igensättningen är kraftigast i början av körytorna (infart) vid övergången från tät asfalt till dränerande asfalt. Enbart avtvättning av proverna med vatten och borste medför en ökning av vattengenomsläppligheten. Se tabell 7.7:1

Tabell 7.7:1

Resultaten från renspolning i laboratorium av borrhprover tagna från yta C1 och yta C4 inom Ideon, Lund. Yta C4 utgörs av cirka 2 år gammal HABD12 och yta C1 av cirka 1 år gammal DRAINOR12.

Yta Plats		Infiltrationskapacitet					
		Antal spolningar med högtryck					
		Före	Tvättad	5	10	20	50
C4	Infart, hj	4	25	26	26	26	-
C4	Infart, hj	1	1	24	55	60	55
C4	Mitt, hj	14	-	200	200	204	204
C4	Mitt, 1 m fr k	9	-	104	97	104	114
C4	Infart, mellan hj	10	-	143	214	214	-
C4	Mitt, mellan hj	14	100	200	214	225	231
C1	Infart, hj	5	14	143	171	231	286
C1	Infart, hj	1	8	171	214	260	317
C1	Mitt, 1 m fr k	17	86	343	428	248	-
C1	Mitt, 1 m fr k	100	120	286	343	389	-

Efter 5 överfarter med högtryckspolning erhöles en ytterligare förbättring av vattengenomsläppligheten. Däremot erhöles ingen betydande ökning efter 10, 20 och 50 överspolningar. För HABD-beläggningen i yta C4 kunde endast cirka halva den ursprungliga infiltrationskapaciteten uppnås efter renspolning i laboratorium. Denna yta hade utsatts för kraftig nedsmutsning under byggskedet. För beläggningen i yta C4, som utsatts för mindre belastning, kunde nästan full vattengenomsläpplighet uppnås efter renspolning.

Ett försök att kombinera högtryckspolning och ytuppsugning gjordes också på testyta nr C1 och nr C3. Ytuppsugningen utfördes med en våtdamsugare avsedd för industrirengöring. När munstycket hölls i en viss vinkel i förhållande till asfaltytan ansamlades en sträng av föroreningar framför munstycket. Denna sträng kunde relativt lätt sugas upp med våtdammsugaren. På båda testytorna valdes en 1x2 m<sup>2</sup> stor yta för rengöring.

För de sediment som sugits upp från de båda ytorna bestämdes kornkurvan genom siktanalys och sedimentering. Se figur 7.7:6. Den upptagna mängden sediment från HABD-ytan (C3) var 0.66 kg/m<sup>2</sup> medan motsvarande för DRAINOR-ytan var 0.47 kg/m<sup>2</sup>. Variationen över en yta kan dock vara stor. Det högst värdet som uppmättes var 2.08 kg/m<sup>2</sup>. Se tabell 7.7:2.

**Tabell 7.7:2** Resultat ytuppsugning i Ideon, Lund. Enhet: mg/m<sup>2</sup>

Variabel	Koncentration mg/m <sup>2</sup>
Cl	396
Susp	13
Ts	16
Gr	14
P <sub>tot</sub>	16
K <sub>J</sub> -N	0
NO <sub>2,3</sub> -N	21
Cu	2.1
Cr	0.1
Zn	3.5
Pb	1.8
Cd	0.1

Den äldre ytan, nr C3, har större andel partiklar inom intervallet 0.06-0.6 mm än den ett år yngre ytan C1. Omkring 80 vikt-% av materialet ligger inom detta intervall. Förmodligen förekommer nednötning av material efter hand varvid andelen partiklar inom nämnda intervall ökar. Erosionprodukter från byggnadsmaterial som varit upplagrad där under byggnadstiden samt restprodukter från hantverksarbeten som förekommit där kan också vara orsaken.

Sedimentanalys gjordes också på material som sopats ihop med borste från ytan. I tabell 7.7:3 redovisas resultaten från denna provtagning. Den totala mängden föroreningar för respektive variabel anges i tabellen samt den mängd som kan tänkas vara växttillgängligt respektive vattenlösligt. Mängden växttillgängliga föroreningar varierar från 55 av total föroreningsmängd i provet för t ex kalium upp till 29 % för koppar. Den vattenlösliga mängden varierar mellan 0.02 % för fosfatfosfor upp till 3 % för kalium.

**Tabell 7.7:3** Föroreningar i löst sittande vägsediment. Enhet: mg/kg torr jord

- 1 = Total mängd föroreningar  
 2 = Växttillgänglig föroreningsmängd  
 3 = Vattenlöslig föroreningsmängd

Variabel	Koncentration		
	1	2	3
Ts	99.50		
Gr	97.80		
Kj-N	168.00		
NH <sub>4</sub> -N	0.80		
NO <sub>2,3</sub> -N	2.60		
PO <sub>4</sub> -N	411.00	23.0	0.10
Cu	7.70	2.2	0.00
Zn	0.05	13.1	3.50
Pb	15.70	3.4	<DET
Cd	0.00	0.1	0.20
Cr	16.60	1.2	0.03
Ni	13.60	1.8	<DET
K	1206.00	58.0	40.00

En undersökning gjord av Hamilton et al, 1983, i England visar att 50 % av mängden Cd, Cu, Pb och Zn i vägsediment är förknippade med partiklar mindre än 500 µm. Partiklar större än 250 µm avlägsnas vanligtvis effektivt med vanliga sopmaskiner. Lösligheten hos metallerna är starkt beroende på hur de är fysiskt och kemiskt bundna till sedimenten.

Föroreningsbelastningen i Ideon är lägre än motsvarande uppmätt på tätta ytor i England. Se tabell 7.7:4. Detta beror naturligtvis på att testytorna inom Ideon har varit utsatt för lägre trafikbelastning. Vid en undersökning som gjordes vid äldre ytor i Göteborgstrakten (se Hogland och Wahlman, 1988) kunde motsatsen observeras. För samtliga variabler utom bly vid den undersökningen var föroreningsvärdena högre än i England. Detta är ett mer naturligt resultat efter en längre tids belastning beroende på den upplagring som sker i öppna beläggningar.

**Tabell 7.7:4** Föroreningskoncentrationer och föroreningsbelastning i vägsediment. Medelvärden från tre platser i London (Hamilton et al, 1983)

Variabel	Belastning	
	(mg/g)	(mg/m <sup>2</sup> )
Cd	2.6	0.15
Cu	197.0	11.70
Pb	1894.0	108.80
Zn	466.0	26.90



### 7.73 Renspolningsförsök på äldre ytor

Renspolningsförsök med högtrycksaggregat (Se avsnitt 3.37) genomfördes också på en igensatt yta inom bostadsområdet Glasberget. Se även figur 7.7:8. Provytan som var belägen i närheten av en lekplats var kraftigt medsmutsad av sand från en sandlåda.

En yta av 1 x 1 m<sup>2</sup> mättes upp för rengöring. Infiltrationskapaciteten innan försökets början var mindre än 1 mm/min. Därefter spolades ytan med 5 liter vilket räckte till tre överfarter med spolningsmunstycket. Infiltrationskapaciteten blev därefter ca 10 mm/min. Spolning gjordes därefter motsvarande 9 spolningar dvs med cirka 15 liter vatten och därefter ytterligare 3 spolningar. Totalt hade då 25 liter vatten förbrukats på ytan och ytan spolats 15 gånger. Infiltrationen efter 12 respektive 15 överfarter var 70 mm/min och 100 mm/min. I figur 7.7:9 visas resultaten från spolningarna.

Ytterligare två renspolningsförsök gjordes i området i körfältet på en av parkeringsplatserna. Beläggningsen var även här igensatt med en genomsläpplighet mindre än 1 mm/min. Vid försöken uppnåddes maximalt 20 mm/min respektive 80 mm/min. Det lägre värdet uppmättes i en punkt där jordpartiklar kommit ut på körfältet från en eroderad gräsmatta beroende på att kantsten saknades. För mer detaljerad beskrivning av försöken hänvisas till Hogland och Wahlman, 1988.

Resultaten från dessa försök tyder på att om det sker en packning av sediment i asfaltens översta hålrum så blir det svårare att rengöra asfalten.

Rengöring av igensatt beläggning utfördes även i laboratorium på borrhövar tagna från några av de äldre ytorna med enhetsöverbyggnad. I tabell 7.7:5 redovisas resultaten efter upprepade spolning med högtryck (<60 mvp). Kolumn 0 anger infiltrationskapaciteten hos borrhövet innan renspolningen påbörjades.

**Tabell 7.7:5** Infiltrationskapacitet hos borrkärnor mätt i laboratorium före (kolumn 0) och efter upprepade försök med renspolning. Enhet: mm/min.

k = körbana  
 inf = infart, infartsgata  
 sä = sättning, lokal lågpunkt  
 m = mellan hjulspår  
 p = parkeringsruta  
 hj = i hjulspår

Yta	Prov nr	Antal renspolningar				Placering
		0	1	2	>10	
Nödinge, yta A	1	51	39	58	83	k,m
	2	-	-	62	119	k,hj
	3	29	-	-	35	k,hj
Nödinge, yta B	1	4	30	40	86	k,hj,sä
	2	228	245	314	385	p,m
	3	32	-	-	58	k,hj
Nödinge, yta C	1	596	627	715	855	p,hj
	2	188	-	-	209	k,hj
Bohus, yta C	1	<1	-	-	13	k,sä
Åby travbana	1	150	155	168	179	k,hj
	2	128	143	147	162	k,hj
	3	199	210	216	271	k,hj
	4	109	-	-	138	p,hj
	5	<1	-	-	9	inf,hj
	6	<1	-	-	15	inf,hj
	7	24	-	-	62	p,hj,sä
Glasberget, nedre	1	248	258	262	270	p,m
	2	58	59	95	148	gångbana
Glasberget, övre	1	3	15	28	56	k,hj
	2	26	32	44	168	k,m
	3	135	133	173	231	p,hj
	4	21	24	40	51	k,hj
	5	<1	-	-	12	k,hj
	6	<1	-	-	-	k,hj
Taggtickan, nedre	1	211	225	229	254	k,hj
	2	8	11	16	25	k,hj,sä
	3	59	56	61	68	k,m
Spårvagnshallarna, inomhus	1	10	-	-	37	-
	2	<1	-	-	81	k,hj
Digesgårda	1	179	176	209	221	k,hj
	2	470	570	502	-	p,m

För ett beläggningsprov med en infiltrationskapacitet lägre än 1 mm/minut kunde efter ett stort antal renspolningar endast en förbättrad vattengenomsläpplighet uppnås till mellan 9 till 15 mm/minut. För att ett av borrproven uppnåddes 80 mm/minut. Detta prov var taget från Spårvagnshallarna och hade en medeltjocklek på 78 mm.

För prover med infiltrationskapaciteten cirka 60 mm/minut erhöles endast en mindre ökning av genomsläppligheten. För ett av proven (Taggtickan nedre) erhöles ingen förbättring efter renspolning.

#### 7.74 Föroreningsinnehåll i lösspolat sediment

I samband med inventeringen av de äldre ytorna togs borrprover på asfalten. Från proverna avlägsnades först allt löst sittande material. Därefter spolades provkropparna med destillerat vatten under högtryck så att det i porerna fast sittande materialet kunde avlägsnas. I figur 7.7:7 redovisas resultaten från analyserna (se även Hogland och Wahlman, 1988).

Studien visar att för samtliga ytor utgör de fastsittande föroreningarna ca 55-85 % av den totala föroreningsmängden. Mängden fast sittande föroreningar av torrsbstans varierade inte mycket mellan de olika provtagningsplatserna. Det lägsta värdet uppmättes på den yngsta ytan i Nödinge medan det högsta värdet på belastningen uppmättes i spårväghallarna. Det senare värdet förklaras med att mycket smutspartiklar förs in i hallarna med spårvagnarna där det torkar och faller ned på asfaltytorna.

I medeltal över samtliga ytor bestod 44 % av materialet av löst sittande material där närmare 90 % av detta kan hänföras till oorganiskt material. Det organiska materialet uppgick till 28 g/m<sup>2</sup> eller 175 g/kg Ts.

Klorid tillförs främst under vinterperioden genom saltning - och som atmosfäriskt nedfall i kustnära områden. Infarten till spårvagnshallarna uppvisar det högsta värdet.

I vägsalt kan också förekomma tungmetaller men den större delen tungmetaller i vägsedimenten härrör från motorfordon. Metallerna kan också härstamma från korrosion av byggnadsmaterial, gatlyktor och staket samt lokala industriutsläpp.

Sammanfattningsvis kan sägas om undersökningen att den totala föroreningskoncentrationen uttryckt i mg/kg Ts varierar mer mellan de olika platserna än belastningen uttryckt i mg/m<sup>2</sup>. Detta gäller både för fast och löst sittande föroreningar. Föroreningskoncentrationen varierar mer mellan de olika mätplatserna för fast sittande föroreningar än de löst sittande. Detsamma gäller belastningen avseende variablerna Cl, Zn, Pb och Cr. Situationen för de övriga variablerna är den motsatta.

I en undersökning på täta beläggningar fann Hamilton et al, 1983, att metallbelastningen i mg/m<sup>2</sup> visar kraftigare rumslig variation än metallkoncentrationen uttryckt i mg/g. Vidare fann de att Cd till största delen befanns bland de utbytbara

fraktionerna och Cu var starkt bundet till organiskt material och restprodukter. De höga halterna i de löst sittande sedimenten vid Glasberget och Abyfältet talar för att så också är fallet i samband med öppna beläggningar.

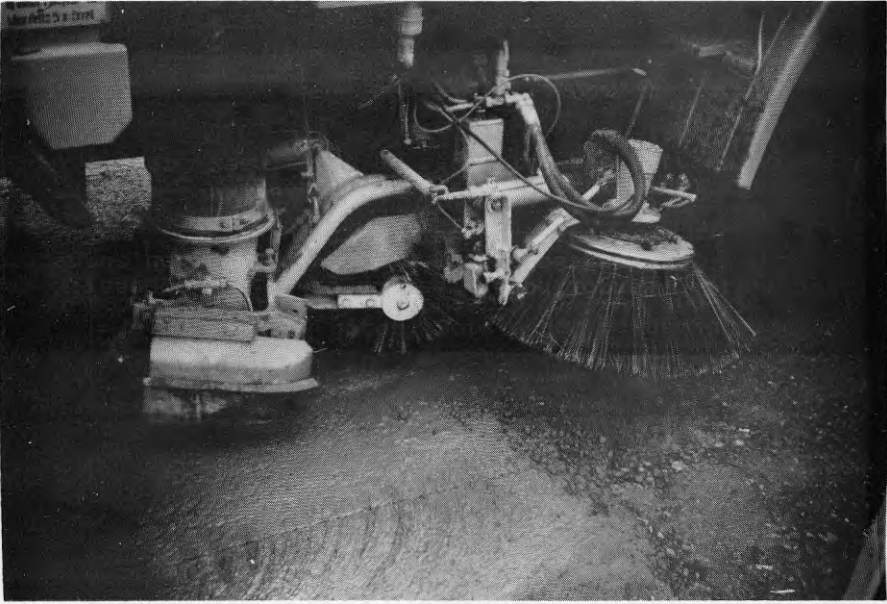


Figur 7.7:1 Avlägsnande av löst sittande föroreningar med hjälp av roterande borste.

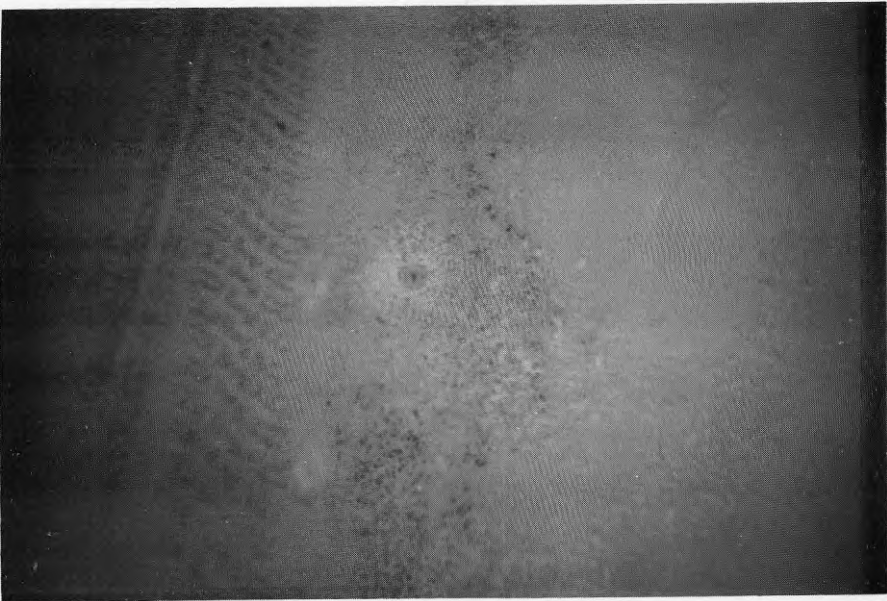


Figur 7.7:2 Rengöring av testyta C1-C2 med sopmaskin av typen Schörling med bevattning och sugupptagning av sediment. Se även figur 7.7:3





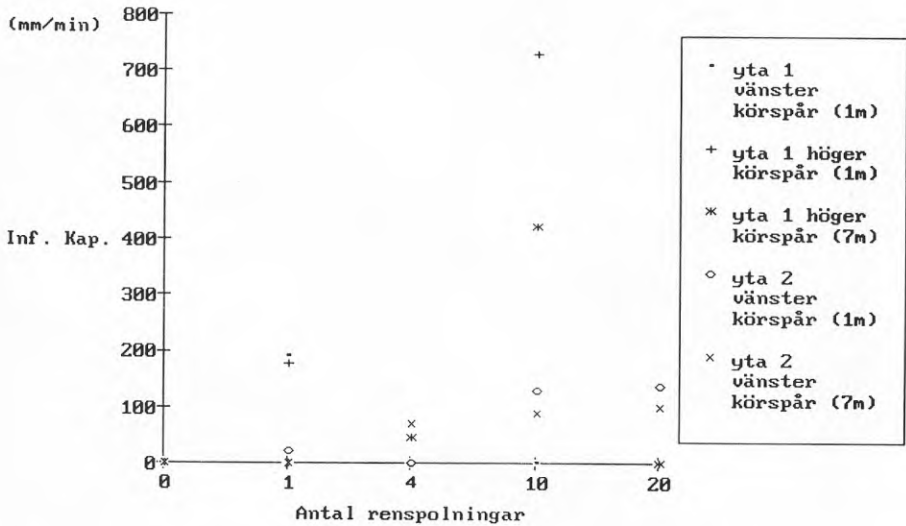
**Figur 7.7:3a** Aggregat på sopmaskin med sugupptag för sopning av gator. Borste och vakuumaggregat.



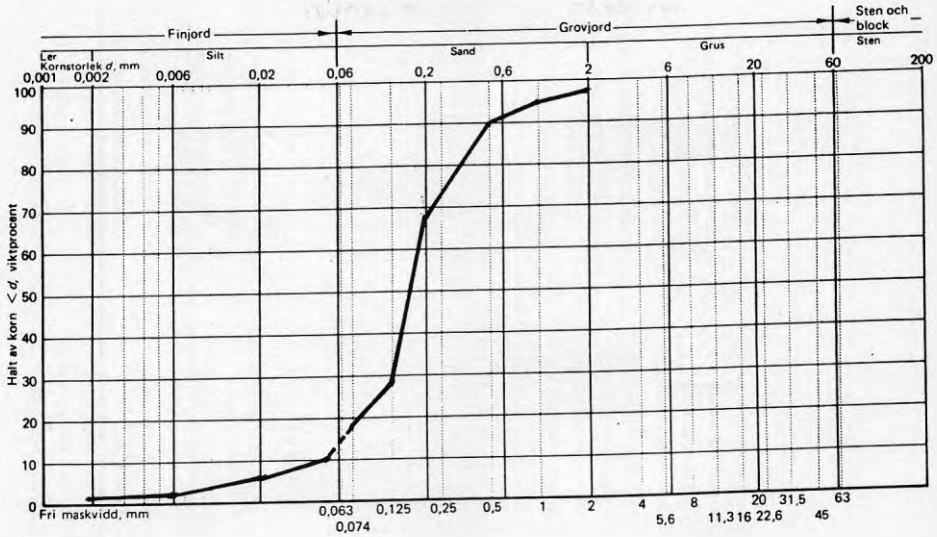
**Figur 7.7:3b** Resultatet av rengöring med våtbaserad sopning/upptagningsutrustning (Schörling).



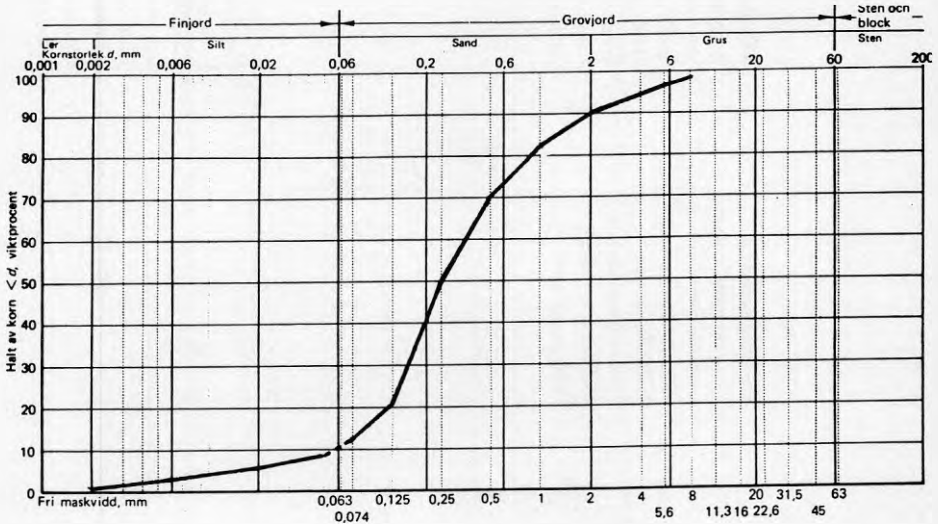
**Figur 7.7:4** Resultat av renspolning på yta C1 inom Ideon, Lund. Observera lösspolat sediment utanför den rengjorda ytan.



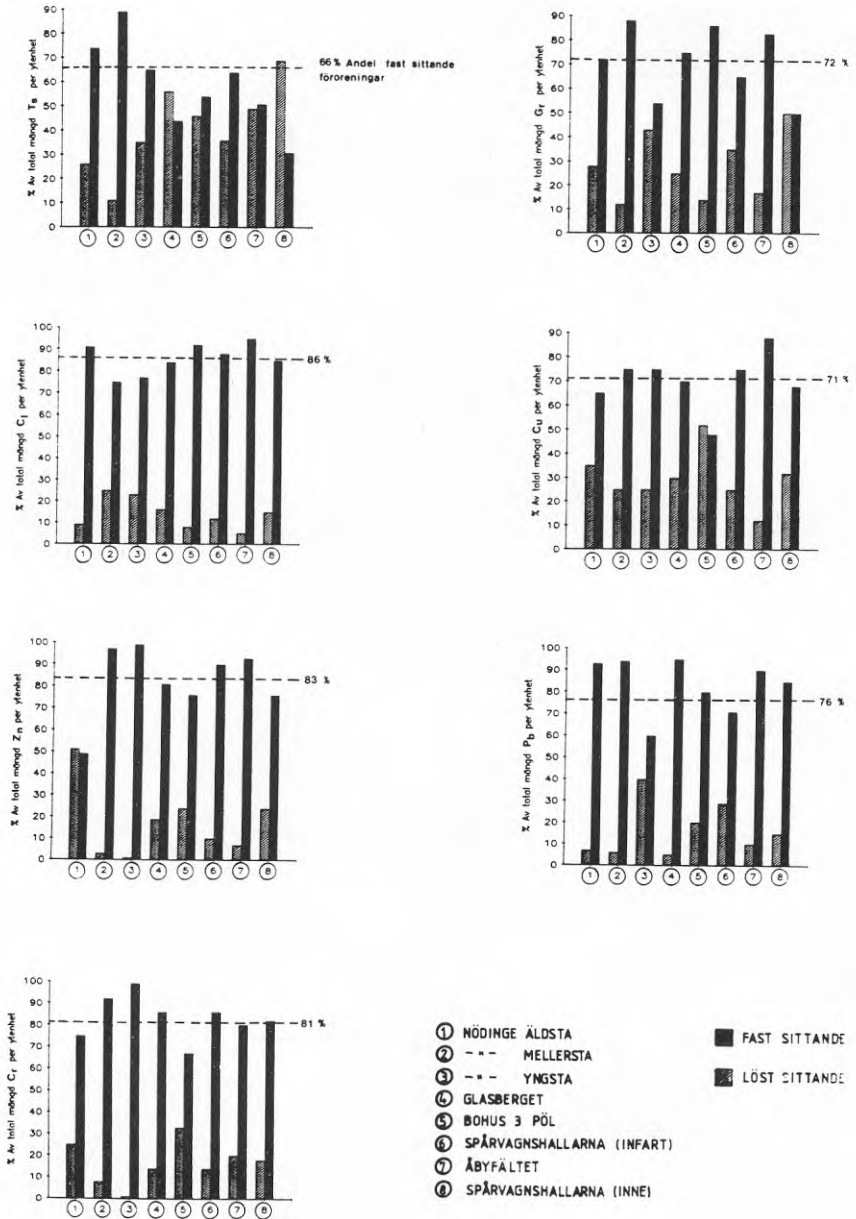
**Figur 7.7:5** Resultat från renspolningsförsök med handutrustning på testyta nr C1 och nr C4. Yta 1=yta C1 och yta 2=yta C4.



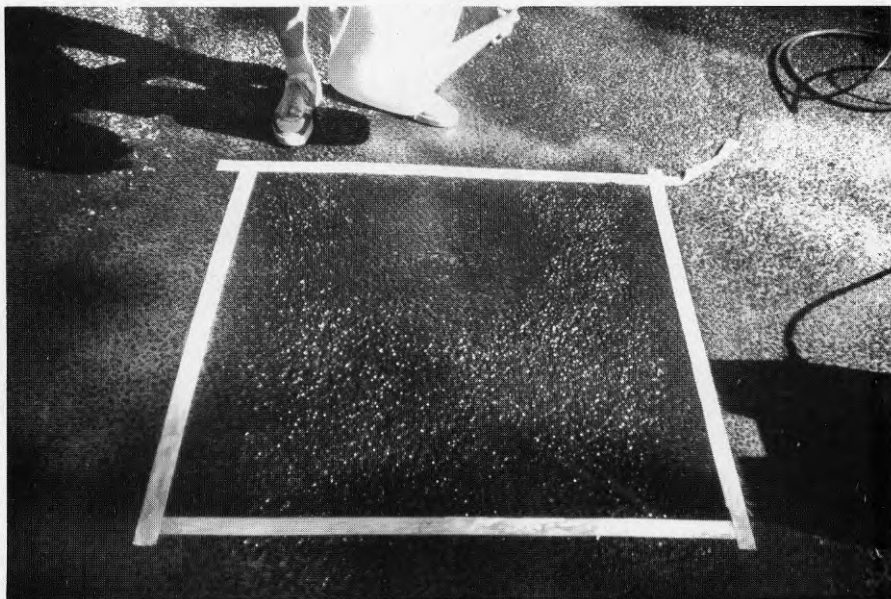
**Figur 7.7:6a** Kornkurva för uppsugna vägsediment från de båda testytorna i Ideon. Yta C1 med HABD-beläggning.



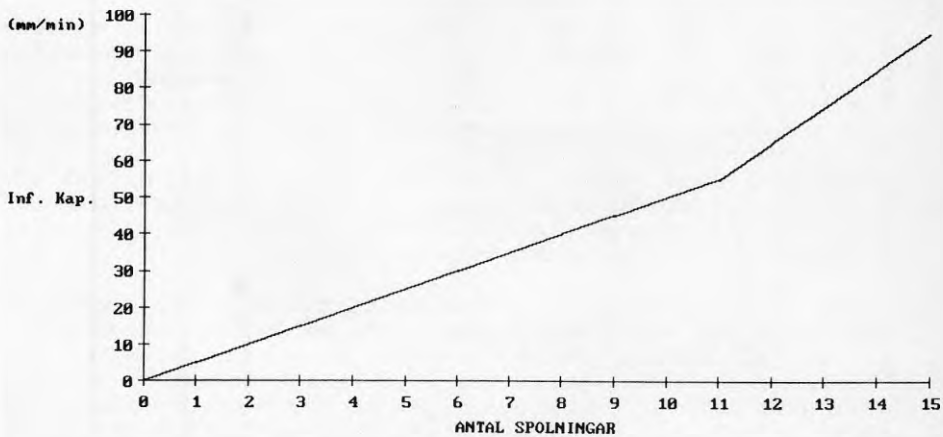
**Figur 7.7:6a** Kornkurva för uppsugna vägsediment från de båda testytorna i Ideon. Yta C4 med Drainor-beläggning.



Figur 7.7:7 Koncentration och belastning av föroreningar i dränerande asfaltbetong vid åtta platser i och omkring Göteborg med enhetsöverbyggnad.



Figur 7.7:8 Rengöring av asfaltyta i Glasbergets bostadsområde.



Figur 7.7:9 Infiltrationskapaciteten som funktion av antalet spolningar.



## 7.8 ENHETSÖVERBYGGNADENS EKONOMI

För att en enhetsöverbyggnad skall vara ett ekonomiskt alternativ till en traditionell asfaltyta bör följande förutsättningar gälla helt eller delvis:

- \* ytans avvattningsledning med dräneringsbrunnar och dagvattenledningar kan reduceras kraftigt eller tas bort helt
- \* kostnaden för makadambärlager bör vara lägre än för grusmaterial
- \* intilliggande hårdgjorda ytors avvattningsledningar kan anslutas till enhetsöverbyggnaden
- \* ytan bör vara lågtrafikerad

I detta avsnitt ges inledningsvis en översikt över de olika arbeten som påverkar produktion och ekonomi för enhetsöverbyggnad i jämförelse med en traditionell överbyggnad. Därefter redovisas resultat från enkäter till entreprenörer samt områdesförvaltare ansvariga för drift och underhåll. Sedan följer en redovisning av anläggningskostnaden respektive drift- och underhållskostnader och avslutningsvis görs en kostnadsjämförelse mellan de två överbyggnadstyperna.

Kostnaderna indelas i anläggningskostnader och drift- och underhållskostnader. Eftersom drift- och underhållskostnader skall jämföras med anläggningskostnader blir kalkylperiod och kalkylränta betydelsefulla. Drift- och underhållskostnader består av vinterväghållning för snöröjning och halkbekämpning samt övriga åtgärder: periodisk förnyelse av slitlager, rengöring och sopning av asfaltytor samt underhåll av dagvatten-systemet.

### 7.81 Enkät med byggentreprenörer och områdesförvaltare

#### 7.811 Enkät till byggentreprenörer

I syfte att samla in erfarenheter från utförande av enhetsöverbyggnad har en enkät sänts till ett urval av byggentreprenörer som anlagt enhetsöverbyggnad. Enkäten sändes ut till 21 entreprenörer och svar erhöles från 12 av dessa. Urvalet gjordes bland de som utfört enhetsöverbyggnad under åren 1984-85. Entreprenörerna fördelade sig geografisk från Göteborg i söder till Umeå i norr. De som svarat på enkäten är den ansvarige arbetsledaren för markarbetena på de aktuella byggnadsobjekten. Ytorna utgjordes av bostadsområden (10), parkeringsplats (1) och industriyta (1).

Av de som svarat hade 5 arbetsledare tidigare erfarenhet av att bygga med enhetsöverbyggnad. För de entreprenören som utförde sin första yta med enhetsöverbyggnad upplevde samtliga att denna typ överbyggnad var svårare att utföra än traditionell grus-bitumen överbyggnad. Av de som hade erfarenhet från andra byggnadsprojekt angav 4 att det var lättare att utföra enhetsöverbyggnad och endast 1 att det var svårare.

På frågan om det tog längre tid att utföra enhetsöverbyggnad än en vanlig överbyggnad svarade 5 att det gick snabbare att utföra enhetsöverbyggnad. Av de som svarat att det tog längre tid hade 1 tidigare erfarenhet och 6 ingen erfarenhet.

Av de två ovan refererade frågorna framgår det att entreprenörer som bygger sitt första objekt med enhetsöverbyggnad upplever att det tar längre tid och att den är svårare att utföra än motsvarande traditionell överbyggnad. Svårigheterna vid utförandet har varit problem med att inte kunna trafikera makadamytorna under anläggandet på grund av att de varit instabila. Dessa problem är sådana att de ofta hade kunnat undvikas genom förbättrad planering av interna transporter och kontroll av överbyggnadsmaterialen innan dessa lades ut. En del av de entreprenörer som svarat hade utgått från att de kunde använda samma maskinpark och anläggningsmetoder som vid utförandet av grus-bitumenöverbyggnader. Detta har gett problem under själva utförandet med svårigheter att på kort tid ställa om maskinparken. Av de som svarat hade endast 2 anpassat sin maskinpark i förväg för att kunna anlägga makadamöverbyggnad.

Materialåtgången till makadambärlager och avjämning blev större än beräknat vid 10 av de 12 byggnadsobjekten. Avjämningslagret och makadambärlagret har i samtliga objekt packats med vibrerande vält. Åtgången av avjämningsmaterial har blivit större pga omrörning i bärlagrets yta från lastbilar och andra fordon varigenom finmakadamen separerats ner i bärlagret och blandat sig med detta.

Från samtliga objekt angavs åtgången av asfaltmassa som mycket högre än beräknat. Orsaken till detta var spårbildning och ojämnheter i underlaget.

Inom 4 av byggnadsobjekten har ytorna med enhetsöverbyggnad använts som provisorisk byggväg. Två av dessa skyddades med fiberduk och slitlager av grus. Kostnaden för skydd av ytan angavs som 15 resp 20 kr/m<sup>2</sup> inklusive borttagande efter byggtidens slut.

Den slutliga anläggningskostnaden angavs som högre för de byggnadsobjekt med entreprenör som saknade tidigare erfarenhet, 9-16 % dyrare, än enligt upprättade anbuds-kalkyler. För en av entreprenörerna med tidigare erfarenhet blev byggkostnaden cirka 18 % lägre än beräknat i anbud (ett bostadsområde med cirka 12 500 m<sup>2</sup> enhetsöverbyggnad).

De största problemen med enhetsöverbyggnad angavs vara att erhålla ett stabilt makadam- och avjämningslager. Lastbilar och traktorer sjönk ner i materialen så att spår och ojämnheter bildades dels under utläggandet av materialen och efteråt innan beläggningen påfördes. Några entreprenörer tyckte det var svårt att utföra enhetsöverbyggnad där det var trånga och svåråtkomliga ytor. Nästan samtliga entreprenörer uppgav problem med nedsmutsning av den färdiga dränerande beläggningen från intilliggande jordarbeten, t ex planteringar, och från trafikering på ytorna.

Sammanfattningsvis kan följande slutsatser dras från denna enkät angående byggerfarenheter:

- \* problem att erhålla ett stabilt och körbart makadambärlager
- \* åtgången av makadam till bärlager och avjämning är större än beräknat
- \* åtgången av beläggningssmassa är större än avsedd
- \* de som ej tidigare anlagt enhetsöverbyggnad anser konstruktionen betydligt svårare att utföra än vanlig överbyggnad

#### 7.812 Enkät till områdesförvaltare

För att undersöka erfarenheter från drift och eventuella underhållsåtgärder på ytor med enhetsöverbyggnad skickades en enkät ut till ett urval av förvaltare som hade ytor som var minst två år gamla. Urvalet var 10 privata och kommunala förvaltare av vilka 6 inkom med svar. Ytorna som förvaltades var i huvudsak parkeringsplatser och gångbanor. Samtliga ytor låg i Göteborgstrakten.

Samtliga förvaltare uppgav att man vintertid behövde åtgärda halka vid betydligt färre tillfällen än för intilliggande ytor med tät asfalt. Halkan åtgärdades med salt eller krossmaterial i fraktionen 4-8 mm. Saltgivan var lika stor på dränerande asfaltbetong som på tät asfaltbetong. En av de svarande angav att snöröjningsarbetet hade minskat och de övriga angav ingen förändring i snöhantering. För alla som svarat hade vinterdriften minskat i jämfört med driften på andra ytor med tät asfaltbetong.

Ingen av de ytor som ingick i enkäten hade vattenansamlingar på asfalten som kunde vara tecken på igensättning. Samtliga förvaltare angav att också barmarksrenhållningen sommartid var mindre än för motsvarande ytor med tät asfaltbetong.

Ingen av förvaltarna hade någon erfarenhet av underhållsåtgärder på beläggningen.

Sammanfattningsvis har följande drifterfarenheter insamlats:

- \* inga vattensamlingar bildas på ytan vilket vintertid minskar halkproblemen
- \* såväl vinterväghållning som barmarksrenhållning har minskat
- \* det saknas erfarenhet från underhållsåtgärder

## 7.82 Anläggningskostnader

I detta avsnitt behandlas inledningsvis vissa frågor, varefter följer avsnitt om materialkostnader samt tre kalkyler där byggande med enhetsöverbyggnad med reducerat dagvattensystem jämföres med traditionellt utförande av hårdgjorda ytor. Kalkylerna har utförts för tre olika objekt; bostadsområdet Glasberget i Mölndal, parkeringsplats vid Åby Travbana i Mölndal samt en industrigata i Uddevalla.

Enhetsöverbyggnaden är försedd med dräneringsledning i samtliga objekt. I samtliga beräkningar användes lokala priser på material, maskiner och arbete. Ingen hänsyn har tagits till eventuell reducering av va-avgift på grund av minskat påsläpp av dagvatten ut från områdena till det kommunala dag- och spillvattensystemet.

I kalkylerna har kostnaderna delats in i två delkostnader; kostnader för dagvattensystem (va-system) och kostnader för hårdgjorda ytor (asfaltytor). Denna uppdelning har gjorts i syfte att kunna bedöma var den ekonomiska skillnaden har störst inverkan. Va-system innefattar ledningar och brunnar för avledning av allt dagvatten inom området inklusive hus- och takdränering. Det traditionella utförandet av asfaltytor är enligt Mark-Ama 83.

Kostnaderna har också delats upp på material- respektive arbetskostnader. I arbetskostnaderna ingår även hyra av maskiner samt arbetsledning.

Som nämnts ovan används lokala priser i de tre kalkylerna (avsnitt 7.822-7.824). Materialkostnaden för makadam och asfaltbetong får dessutom en särskild redovisning i avsnitt 7.821. På jämförbart sätt lämnas nedan vissa uppgifter och kostnader för avvattningssystem.

Normalt utföres traditionella asfaltytor med dagvattenbrunnar för att ta hand om ytvatten och nederbörd. Vanligtvis sättes en brunn ut för att ta emot vatten från 500-1000 m<sup>2</sup> hårdgjord yta. Kostnaden för en brunn inklusive anslutande ledningar och grävningssarbetete har antagits till 7.5 kkr. Detta ger en normalkostnad för dagvattensystem för avvattning av ytvatten på 7.5-15 kr per kvadratmeter asfalterad yta. Denna kostnaden varierar givetvis kraftigt beroende på typ av objekt (parkeringsplats, gata, bostadsområde) och på undergrundsförhållanden. Om man helt slopar ytavvattning med dagvattenbrunnar då enhetsöverbyggnad användes är besparingen i anläggningskostnad motsvarande belopp, 7.5-10 kr/m<sup>2</sup>.

### 7.821 Materialkostnader

Materialkostnaden för bärlager och avjämning utgör normalt cirka 2/3 av överbyggnadskostnaden exklusive terrasseringsarbeten. Kostnaden för inköp av makadam har därför stor inverkan på lönsamheten med enhetsöverbyggnad. Priserna varierar över landet beroende på tillgång till täkt och transportavståndet från täkt till byggplats.

Priserna hos ett urval av 14 lokala makadam- och grusleverantörer från Malmö i söder till Luleå i norr har undersökts. I tabell 7.8:1 redovisas lokala kostnader för material till avjämning (8-12 mm), bärlager (8-80 mm) och förstärkningsgrus. Prisvariationen är obetydlig för olika krossverk på samma ort. Priserna är exklusive transportkostnader.

**Tabell 7.8:1 Lokala priser på makadam och grus för ett urval av orter. Priser från 1985, kr/ton.**

Ort	Makadam		Grus
	8-12	8-80	A-mtrl
Malmö (2)	74	73	37
Kristianstad (2)	-	73	-
Åstorp (1)	67	60	-
Karlstad (1)	48	40	24
Göteborg (3)	55	41	36
Stockholm (3)	40	36	36
Sundsvall (1)	-	41	37
Luleå (1)	66	50	37

Kostnaden för makadam är på vissa orter 40-50% högre än för grusmaterial (Malmö, Karlstad). För andra orter är priset ungefär densamma för bägge typerna av material (Göteborg, Stockholm, Sundsvall). Om man antar att makadam är cirka 50% dyrare än grus innebär detta en kostnadsökning på cirka 30% för att anlägga enhetsöverbyggnad jämfört med grus-bitumenöverbyggnad.

Åtgången av material är lägre när makadam av grov typ användes. Efter 1-2 vältöverfarter erhålles en komprimering som uppgår till mindre 10% av dess volym att jämföra med cirka 30% för finare fraktioner. När man använder enhetsöverbyggnad minskas antalet obundna lager som skall läggas ut och packas från 3-4 st i en grus-överbyggnad till 1-2 lager i enhetsöverbyggnad. Under förutsättningen att det inte föreligger några svårigheter med att utföra eller trafikera makadambärlagret, dvs att det är stabilt, kan den totala byggtiden för överbyggnaden minskas med cirka 30-40%, enligt erfarenheter från några väl utförda objekt. Detta har redovisats i en tidigare delrapport från projektet (Hogland och Wahlman, 1988).

Den dränerande asfaltbetongen som användes till enhetsöverbyggnad är cirka 60 kr högre per ton i inköpspris än MAB, vilket vid 80 kg/m<sup>2</sup> innebär cirka 5 kr/m<sup>2</sup>. Om det går åt 10 kg/m<sup>2</sup> mer vid dränerande asfaltbetong blir merkostnaden cirka 7 kr/m<sup>2</sup> (pris för MAB-massa cirka 180 kr/ton).

#### **7.822 Bostadsområdet Glasberget**

Bostadsområdet Glasberget byggdes åren 1983-84. Alla hårdgjorda ytor har utförts med enhetsöverbyggnad. Denna har tjockleken 350 mm på gångbanor och 500 mm på parkeringsytor och lokalgator. Området ligger i starkt kuperad terräng med delvis på ytligt berg vilket innebär att kostnaden för bergschakt för detta objekt blir högt. I de två kalkylerna som



redovisas har kostnaden för bergschakt inte tagits med utan redovisas separat. Området består av cirka 700 m<sup>2</sup> gångbanytor och cirka 2500 m<sup>2</sup> parkeringsytor och lokalgator.

I tabell 7.8:2 redovisas två olika kalkyler utförda vid LTH och av Skanska i Malmö. Beräkningen vid LTH baseras på prisuppgifter från Göteborg lämnade av Riksbyggen. I Skanskas kalkyl har prisuppgifter från Skåne och interna kapacitetsuppgifter använts. Mängduppgifterna är lika i de båda kalkylerna och har beräknats av Skanska.

Enligt kalkylen från LTH innebär enhetsöverbyggnad en besparing på cirka 16% av totala markanläggningskostnaden. Kalkylen som utförts av Skanska visar på motsatt förhållande: enhetsöverbyggnaden innebär en kostnadsökning på cirka 13% i förhållande till traditionellt utförande. Skillnaderna i beräkningar ligger främst i bedömningen av utförande- och arbetskostnader, maskinhyra samt materialkostnader för va-systemet.

Med kalkylen från LTH består besparingen till största delen i reducerat dagvattensystem, cirka 32% kostnadsbesparing. Enligt Skanskas kalkyl är denna reduktion endast 6% av kostnaden för va-systemet. Besparingen består främst av att färre antal brunnar används samt att ledningar förlägges grundare med enhetsöverbyggnad. I kalkylen från Skanska är kostnaden för material och utförande av asfaltytorna för enhetsöverbyggnad cirka 45% dyrare än med grus-bitumenöverbyggnad. I Skanskas kalkylen har man då utgått ifrån att det tar längre tid att utföra enhetsöverbyggnad samt att överbyggnadsmaterialen (makadam) är dyrare än tillgängliga grusmaterial.

**Tabell 7.8:2 Kostnadsberäkning för området Glasberget, Mölnadal (exklusive bergschakt). (kk)**  
(Prisläge: 1986)

Typ av arbete	LTH-kalkyl		SKANSKA-kalkyl	
	EÖB	TRAD UTF	EÖB	TRAD UTF
Va-system				
arbete	189	262	268	273
material	286	441	291	319
<b>Summa</b>	<b>475</b>	<b>703</b>	<b>559</b>	<b>592</b>
Asfaltytor				
arbete	131	182	116	112
material	483	415	382	231
<b>Summa</b>	<b>614</b>	<b>597</b>	<b>498</b>	<b>343</b>
Total anläggningskostnad	<b>1089</b>	<b>1300</b>	<b>1057</b>	<b>935</b>
Skillnad	-211 (-16%)		+122 (+13%)	

I kostnaden för utförande av beläggning av dränerande asfaltbetong har Skanska i sin kalkyl gjort följande påslag gjorts:

- ökad åtgång av asfaltmassa +10 kg/m<sup>2</sup>
- extra packningsarbete,
- omlastning från lastbil till asfaltsläggare med traktor

Dessa påslag gör att priset för dränerande asfaltbetong per m<sup>2</sup> blir cirka 60% högre än vanlig asfaltbetong. Om man ej tar med dessa påslag kan kostnaden asfaltytor vid EÖB i Skanskas kalkyl i tabell 7.8:2 minskas med cirka 38 kkr. Även för avjämning och makadambärlager har kostnaden beräknats högt för utläggning och material. Om man använder uppgifter om kapacitet och materialåtgång från liknande objekt kan kostnaderna asfaltytor minskas med ytterligare cirka 74 kkr. Sammantaget blir då kostnaden för asfaltytor 375 kkr. Detta innebär fortfarande att enhetsöverbyggnad är dyrare (10%) att utföra än en grus-bitumenöverbyggnad. Emellertid är prisskillnaden mellan grus- och krossprodukter 30 kr/ton högre i Skåne än i Göteborgsområdet. Om Göteborgspriser förutsättes i Skanskas kalkyl för traditionellt utförande oförändrat medan kostnaden för enhetsöverbyggnad sjunker med cirka 75 kkr. Enhetsöverbyggnad blir då cirka 15% billigare.

Ingen hänsyn har tagits till skydd av överbyggnaderna under byggtiden, om dessa skall användas som t ex transportvägar eller uppställningsytor. Från enkäten till entreprenörer (avsnitt 7.811) har kostnaden för ett skydd på enhetsöverbyggnad bestående av fiberduk och grusslittlager angetts till 15-20 kr/m<sup>2</sup>. Den yta som eventuellt skulle beskyddas i Glasberget kan antas utgöra cirka 30% av parkeringsytorna, dvs 840 m<sup>2</sup>. Detta medför en kostnadsökning för enhetsöverbyggnadsutförande med cirka 17 kkr.

Omräknas kalkylerna med hänsyn till kostnader för bergschakt ökas kostnaden för ledningsgravar med 260 kkr för enhetsöverbyggnad och för traditionellt utförande med 597 kkr. Om totalkostnaden i tabell 7.8:2 ökas med dessa belopp ger kalkylen från LTH en besparing med enhetsöverbyggnad på cirka 29% och med Skanskas kalkyl cirka 14%.

Sammanfattningsvis visar kalkylerna på att enhetsöverbyggnad kan vara avsevärt billigare än traditionellt utförande om vissa förutsättningar råder. Det som inverkar är dels hur väl förtrogen entreprenören är med att utföra denna typ av makadamöverbyggnad samt prisskillnaden mellan kross och grusprodukter. Vidare inverkar typen av undergrund kraftigt på anläggningskostnaden.

### 7.823 Parkeringsplats, Mölndal

Intill Åby travbana i Mölndal gjordes en tillbyggnad av parkeringsplatsen 1983 på cirka 10 000 m<sup>2</sup> med enhetsöverbyggnad. Innan arbetet upphandlades lämnades anbud från 11 entreprenörer på utförande med enhetsöverbyggnad respektive med traditionell grusöverbyggnad. Tjockleken på enhetsöverbyggnaden var 550 mm på parkeringsytor och 650 mm på en infartsgata. Motsvarande med grus-bitumenöverbyggnad var 650 mm och 750 mm.

Beläggningen skulle utföras med 100DRAINOR respektive 100MAB. Undergrunden bestod av lera och marken var plant belägen.

De 11 anbudena visade alla en lägre kostnad med enhetsöverbyggnad. I tabell 7.8:3 redovisas anbudssummorna för enhetsöverbyggnad respektive traditionellt utförande. Utförandet med enhetsöverbyggnad var 10-255 kkr billigare. Av anbudena hade 7 st en besparing på 7-12 %, 1 anbud 19 % och 3 anbud endast 1-5%.

**Tabell 7.8:3 Anbudssummor från parkeringsplats i Mölndal (kkr)**

	Entreprenör	EÖB	TRAD UTF	Skillnad
1	824	908	- 84	9 %
2	924	995	- 71	7 %
3	904	995	- 91	9 %
4	985	995	- 10	10 %
5	907	995	- 88	9 %
6	917	967	- 50	5 %
7	968	1097	-129	12 %
8	837	936	- 99	11 %
9	958	1056	- 98	9 %
10	860	900	- 40	4 %
11	1086	1341	-255	19 %

I tabell 7.8:4 redovisas kostnader beräknade av gatukontoret i Mölndal (GK) respektive av entreprenör nr 11 (i tabell 7.8:3). Kostnaderna redovisas på samma sätt som ovan uppdelat på va-system och asfaltytor. Arbets- och maskinkostnaden har ej fördelats på respektive del.

**Tabell 7.8:4 Kostnadsberäkning för parkeringsplats i Mölndal. (kkr)**

	GK-kalkyl		Anbudskalkyl	
	EÖB	TRAD UTF	EÖB	TRAD UTF
Va-system	61	120	52	101
Asfaltytor	1354	1351	971	1180
Arbete	-	-	55	55
<b>Summa</b>	<b>1415</b>	<b>1471</b>	<b>1078</b>	<b>1336</b>
Skillnad	-56 (-4%)		-256 (+19%)	

Med det traditionella utförandet har ytan utrustats med 12 st dagvattenbrunnar. Detta antal minskar 4 st vid enhetsöverbyggnad. Tar man helt bort dessa brunnar, dvs så som ytan kom att utföras, minskar kostnaden för enhetsöverbyggnad med cirka 26 kkr i bägge kalkylerna. Om i anbudskalkylen arbetskost-

naden kan minskas med 30-40% (jämför avsnitt 7.821) vid enhetsöverbyggnad ökar besparingen till 275 kkr (21%).

I dessa kalkyler utgör kostnaden för va-system en liten del, mindre än 10%, av totala anläggningskostnaden. Detta gör att inbesparingen med enhetsöverbyggnad blir liten om inte själva överbyggnaden kan utföras till en lägre kostnad. I GK-kalkylen har kostnaden för avjämningslager och fiberduk till enhetsöverbyggnaden räknats högt. Minskas denna kostnad till en mer normal nivå erhålles totalkostnaden för enhetsöverbyggnad till 1315 kkr, dvs cirka 11% lägre än med traditionellt utförande.

#### 7.824 Friggavägen, Uddevalla

Inom Uddevalla kommun har gatukontoret utfört en del gator med en öppen överbyggnad som liknar enhetsöverbyggnaden. För ett av objekten, Friggavägen, har kommunen redovisat en jämförande kalkyl mellan en öppen överbyggnad, här kallad ÖÖB, och traditionellt utförande med grus-bitumen överbyggnad. Denna framgår av tabell 7.8:5. Gatan är cirka 350 meter lång och omfattar cirka 2700 m<sup>2</sup>.

Med öppen överbyggnad minskas antalet dagvattenbrunnar från 4 st till 1 medan ledningslängden är ungefär densamma. Besparingen med den öppna överbyggnaden är cirka 29%, vilket i huvudsak beror på lägre anläggningskostnader för själva överbyggnaden.

Tabell 7.8:5 Friggavägen, Uddevalla

Typ av arbete	Kalkylerade kostnader	
	ÖÖB	TRAD ÖB
Va-system	48	50
Asfaltytor	277	337
Summa	275	387
Skillnad	-112 (-29%)	

#### 7.83 Drift- och underhållskostnader

Uppgifter om kostnaden för olika typer av drift- och underhållsåtgärder på lågtrafikerade ytor har inhämtats från förvaltare i södra Sverige. Nedan redovisade kostnader är medelvärden av de erhållna uppgifterna. Uppgifterna ligger till grund för nedan redovisade kalkyl.

Kalkylen är beräknad för bostadsområdet med samma omfattning som det i avsnitt 7.822 redovisade Glasberget (cirka 700 m<sup>2</sup> gångbanor och 2800 m<sup>2</sup> parkeringsytor och lokalgator). Området är beläget i södra Sverige. Antalet halbekämpningstillfällen per vintersäsong är 10 med traditionellt utförande och 5 med enhetsöverbyggnad. Antalet snöröjningstillfällen minskas från 6 till 5 vid enhetsöverbyggnad. Med traditionellt utförande

antas ytan utföras med 12 dagvattenbrunnar. I enhetsöverbyggnadsutförande reduceras dessa till 4 st.

För att hålla hålrummen i den dränerande beläggningen öppen antas man behöva rengöra ytorna vartannat år med högtryckspolning. Detta har kostnadsberäknats till cirka 0.70 kr/m<sup>2</sup>, med kapaciteten cirka 500 m<sup>2</sup> per timme. Vanlig rensopning av ytorna antas utföras 2 ggr per år vid traditionellt utförande respektive en gång per år med enhetsöverbyggnad.

I jämförelsen har samtliga kostnader beräknats enligt nuvärdesmetoden, dvs alla framtida kostnader är omräknade till ett nuvärde. Kalkylperioden är 30 år och den använda kalkylräntan (realränta) 5%.

Den tekniska livslängden för slitlager av asfaltbetong (MAB) på lågtrafikerade ytor såsom parkeringsplatser och gångbanor är normalt cirka 25 år. Denna livslängd har antagits i utförandet med traditionell överbyggnad. För den dränerande asfaltbetongen på den öppna överbyggnaden antas livslängden vara cirka 10 år kortare på grund av uttorkning av bindemedlet i beläggningens öppna porer samt den årliga rensningen av beläggningen med högtryckspolning som antas påverka bindemedelshinnan och därmed beläggningens sammanhållning. I kalkylen ovan har därför antagits att man lägger nytt slitlager av dränerande asfaltbetong efter 15 år med enhetsöverbyggnad och att man vid traditionellt utförande efter 25 år gör en enkel beläggning som kan räknas hålla till kalkylperiodens slut. Den beräknade beläggningskostnaden har antagits till cirka 12 kr/m<sup>2</sup> för den nämnda enkla beläggningen och cirka 30 kr/m<sup>2</sup> för dränerande asfaltbetong.

**Tabell 7.18 Drift- och underhållskostnader, nuvärdeskostnad kr/m<sup>2</sup>**

Åtgärd	K-yta		Gångar/år		Kr/m <sup>2</sup> , år		Nuvärde	
	kr/m <sup>2</sup>	kr/m <sup>2</sup>	EÖB	TRAD	EÖB	TRAD	EÖB	TRAD
<b>Vinter</b>								
Snöröjning	0.04	0.06	5	6	0.22	0.26	3.40	4.00
Halkbekämpning	0.09	0.11	5	10	0.47	0.94	7.25	14.45
Sandupptagning	0.10	0.12	1	1	0.11	0.11	1.70	1.70
<b>Sommar</b>								
Brunnsrensning	0.16	0.16	0	1	0:-	0.16	0:-	2.50
Spolning dränasfalt	0.70	0.75	1	0	0.71	0:-	10.90	0:-
Sopning	0.04	0.05	1	2	0.04	0.09	0.60	1.40
<b>Underhåll</b>								
Ny beläggning	30:-	12:-	1/15	1/25	-	-	14.45	3.55
Sättning asfalt	0.12	0.12	0	1/15	-	-	0:-	0.05
Brunnsjustering	0.22	0.22	0	1/15	-	-	0:-	0.10
<b>Va-avgifter</b>	-0.15	-0.15	1	0	-0.15		-2.30	0:-
<b>Summa drift- och underhållskostnader, nuvärde:</b>							<b>36:-</b>	<b>27.75</b>



Kostnaden för drift- och underhåll är cirka 8 kr/m<sup>2</sup> (30%) lägre för enhetsöverbyggnad jämfört med traditionellt utförande. Om man bortser ifrån besparingen inom vinterväghållningen är kostnaden högre med enhetsöverbyggnad, cirka 16 kr/m<sup>2</sup> dyrare.

#### 7.84 Kostnadsjämförelser

Ovan har anläggningskostnader och nuvärde av drift- och underhållskostnader under en 30-årig kalkylperiod redovisats. Nuvärdet har beräknats med 5% realränta. De totala kostnaderna för exemplet Glasberget (12 dagvattenbrunnar vid trad och 4 vid EÖB, 2800 m<sup>2</sup> körytor och 700 m<sup>2</sup> gångbanor) blir enligt LTH:s kalkyl följande:

	EÖB	TRAD
	kk	kk
Anläggningskostnad	310	372
Drift och underhåll	36	28
<b>Summa</b>	<b>346</b>	<b>400:-</b>
	<b>(-14%)</b>	

Enhetsöverbyggnaden är således väsentligt billigare än motsvarande hårdgjord yta i traditionellt utförande.

## 8 SAMMANFATTNING AV RESULTAT

### 8.1 Allmänt

De i projektet utförda studierna visar att enhetsöverbyggnad är en konstruktion lämplig att användas på lågtrafikerade ytor för att förenkla utformningen av dagvattensystem och förbättra vattenbalansen.

Följande fördelar kan förväntas:

- Förbättrad vattenbalans i urbana områden
- Minskade dag- och bräddvattenutsläpp till vattendrag
- Färre dagvattenledningar och rännstensbrunnar vid nybyggnation
- Förbättrad situation för vegetation
- Risken för sättningar minskar liksom risken för tjälskador
- Mindre halkrisk i samband med återfrysning av smältvatten
- Minskad vinterväghållning

Följande nackdelar kan förväntas:

- Igensättning av den dränerade asfaltbetongen vid normal användning förekommer och därmed försämrade infiltration
- Nedsmutsning under byggske
- Andra metoder för halkbekämpning
- Risk för grundvatten nedsmutsning nära vattentäcker
- Försvårad sanering i samband med tankbilsolyckor etc.
- Markuppmjukning och skador på husgrunder där förhöjd grundvattennivå uppnås

### 8.2 Avrinning

De avrinningsmätningar som genomförts på testytorna i Lund och Sundsvall visar samtliga att avrinningen från en enhetsöverbyggnad är svår att prognostisera. Stora och intensiva regn ger en avrinning som är volymmässigt större än den nederbörd som faller direkt över den öppna beläggningen på enhetsöverbyggnaden.

Sommarregn tenderar att ge förhållandevis mindre avrinningsvolymer än höst- och vårregn. Liten nederbörd (< 5 mm/min) under sommaren ger normalt ingen avrinning. Skillnaden i avrinning torde kunna förklaras med skillnader i markfuktighet

i till konstruktionen angränsande områden vilket medför en variation under året i storleken av den aktiva arean.

Inledande försök har gjorts till att utveckla en datormodell för beräkning av avrinning från en enhetsöverbyggnad. Modellen behöver dock vidareutvecklas.

Enhetsöverbyggnad innebär att dagvattnet förs ner via väggkroppen till underliggande mark.

### 8.3 Markfuktighet

Markfuktighetsmätningar visar skillnader mellan en traditionell överbyggnad och enhetsöverbyggnad. I enhetsöverbyggnaden minskar markfuktigheten i den övre delen av terrassen under sommaren.

Traditionell överbyggnad har jämnare vattenhalt igenom hela konstruktionen under hela året.

Markfuktighetsmätningarna indikerar på att fiberduken är genomsläpplig för vatten även efter några års användning. Genomsläppligheten är dock mycket liten beroende på det finmaterial som samlas på fiberduken.

Vattenståndsökningen ovanpå fiberduken i överbyggnaden är under måttliga regn obetydlig oftast bara några få centimeter.

### 8.4 Föroreningar i överbyggnaden

Den stora frågan är fortfarande om överbyggnadens vattenkvalitativa fördelar överträffar de potentiella nackdelarna.

De kvalitetsmätningar som gjorts på dräneringsvatten från äldre ytor visar på att det har dricksvattenkvalitet för flertalet av analyserade föroreningsvariabler.

Konstruktionen bör dock ej användas nära dricksvattenkällor.

Ytavrinning kan ske från intilliggande blomrabatter eller jordbruksmark vilket kan skapa igensättning av beläggningen eller extra tillförsel av föroreningar.

Under ett artificiellt snösmältningsförsök kunde en kraftig reduktion av föroreningarna susp, Ts, Cr och Al samt en mindre reduktion även för Cu, Zn och Pb påvisas. En liknande reduktion kunde också påvisas under den ordinära snösmältningen.

En ökning av koncentrationen av kväve förekommer under vattnets transport genom konstruktionen. Detta gäller speciellt koncentrationen av  $\text{NO}_3\text{-N}$  men också koncentrationen av  $\text{NO}_2\text{-N}$ , Kj-N och  $\text{NH}_4\text{-N}$ . Fenomenet skulle kunna förklaras med rådande syreförhållanden i koncentrationen. Testområdet utgör tidigare jordbruksmark vilket kan orsaka en urlakning av  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$  och Cl.

Till konstruktionen tillförs också en hel del organiskt material vilket ökar  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$  och  $\text{NH}_4\text{-N}$ . En ökning av koncentrationen av klorid kunde också observeras. Troligen förekom en utspolning av i konstruktionen upplagrad klorid. Under vintern saltades ytorna vilket de också gjordes under byggnadsskedet för att binda dammet på de kraftigt nedsmutsade ytorna.

I den sura nederbördsvatten förändras pH till närmare neutralt under dess transport i konstruktionen.

Genom förmågan hos enhetsöverbyggnad att fördröja avrinningen, infiltrera vatten och avlägsna potentiella föroreningar i avrinningen reduceras chockbelastningen av förorenat dagvatten som når vattendragen.

Vid uppgrävning av testyta C1 inom Ideon befanns större delen av föroreningarna i överbyggnaden liggande på fiberduken.

Jämföres föroreningssituationen i beläggningen med årlig atmosfärskikt nedfall i Lund finner vi att  $P_{\text{tot}}$ , K och Cu i asfaltbeläggningen är 2-3 gånger större medan de är 10-30 gånger större i asfaltbeläggningen för variablerna Zn, Pb och Cr.

### 8.5 Föroreningar i ytsediment

Mängden växttillgängliga föroreningar i ytsediment från enhetsöverbyggnad varierar från 29% av total föroreningssmängd för t ex koppar upp till 55% för kalium. Den vattenlösliga delen varierade mellan 0.02% för fosfatfosfor upp till 3% för kalium.

Cirka 55-85% av den totala föroreningssmängden var fast sittande material.

Mängden fast sittande föroreningar av Ts varierade mycket mellan de olika provtagningsplatserna. I medeltal bestod 44% av materialet av löst sittande föroreningar där närmare 90% av detta kan hänföras till oorganiskt material.

Den totala föroreningsskoncentrationen av både löst och fast sittande material uttryckt i mg/kg Ts varierar mer mellan de olika platserna än belastningen uttryckt i  $\text{mg/m}^2$ .

Föroreningsskoncentrationen varierar mer mellan de olika mätplatserna för fast sittande föroreningar än för löst sittande.

### 8.6 Laboratorieförsök

I laboratoriet byggdes 12 boxar med enhetsöverbyggnad i vilka igensättningen och föroreningssituationen studerades efter simulering av upp till 30 års nederbörd. Infiltrationskapaciteten hos ytorna efter 30 års användning var ca 400 mm/min. Föroreningsspridningen i beläggningen var jämnt fördelat vilket ej är fallet när asfalten utsatts för biltrafik.

För flertalet av de analyserade variablerna har ingen signifikant föroreningspåverkan kunnat konstateras på underliggande jord efter en längre periods användning.

En svag ökning av föroreningskoncentrationen kan skjönjas efter 1.5 års drift hos variablerna  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{P}_{\text{tot}}$ , K, S, Zn och Pb. Svavel visar de kraftigaste ökningen på 11 ggr initialvärdet medan övriga ligger mellan 3 - 4 ggr detta värde.

Resultaten ger antydning om att föroreningar kan tränga igenom geotextilen under de första åren av konstruktionens användning. Därefter har ett lager med fint material ansamlats på geotextilen, innehållande organiskt material, vilket högst väsentligt reducerar föroreningsspridningen till undergrunden.

Variablen  $\text{NO}_3\text{-N}$  är den enda variabel som påvisar tecken till ackumulering i underliggande jord.

Organiskt material tillförs konstruktionen via dagvattnet och binder föroreningar till sedimentlagret.

### 8.7 Infiltrationsmätningar

En speciell infiltrationsutrustning för mätning av infiltrationsförmågan (vattengenomsläppligheten) på dränerade asfaltbetong på öppna underlag har framtagits.

Infiltrationskapaciteten hos en ny dränerande asfaltbetong av typ DRAINOR är 500-700 mm/min.

Den äldsta ytan i Sverige byggd med enhetsöverbyggnad (1981) har en medelinfiltrationskapacitet på 65 mm/min.

De vanligaste orsakerna till igensättning är avrinning från angränsande grönytor och rabatter, nedsmutsning under byggnadsskedet, felaktig vinterväghållning, lagring av byggnadsmaterial och jordmaterial på ytan, felaktiga reparationsarbeten.

Infiltrationskapaciteten 1 mm/min är tillräcklig för nöjaktig infiltration under ett intensivt regn. För att ytan skall fungera med viss säkerhet bör den ha en medelinfiltrationskapacitet på ca 50 mm/min.

I allmänhet fungerade fortfarande de flesta ytorna mycket bra efter 4-5 års användning. Endast 1 av 17 ytor hade allvarliga brister. (En jordhög hade lagts på ytan och en ledningsgrav dragits igenom ytan och återfyllts med bärlagergrus).

### 8.8 Rengöring av beläggning

Efter det att en yta blivit kraftigt nedsmutsad och igensatt efter byggnadsskedet har beläggningen ingen självrensande förmåga. Även långvariga regn med hög intensitet har mycket liten rensande effekt.

Rengöring av dränerande asfalt kan ej göras med traditionell utrustning för gatsopning. Borstning och vakuumsugning kom-



binerat med högtryckspolning har visat sig vara effektivt om ytorna ej är för kraftigt nedsmutsade.

Rengöring med högtryckspolning är nödvändig. Med hjälp av handutrustning ökade infiltrationskapaciteten från nära noll upp till fullkapacitet. Har beläggningen blivit igensatt till en nivå 1.5-2 cm under dess överyta är den betydligt svårare att rengöra.

### **8.9 Skador på beläggning**

Den mest frekventa typen av beläggningsskada är igensättning av beläggningens ytliga hålrum.

Jämfört med vanliga grus-bitumen överbyggnader ger enhetsöverbyggnad ingen ökad skadefrekvens av skador som sättningar, krackeleringar eller sprickbildning.

De skador som karterars beror huvudsakligen på felaktigheter under utförandet eller i felaktig sammansättning av stenmaterialet till avjämning eller makadambärlager.

### **8.10 Bärighet och tjäle**

Fem olika tjocklekar på enhetsöverbyggnad på undergrund av moränlera prövades i Ole Römers väg. Lämplig tjocklek med hänsyn till uppmätta nedsjunkningsvärden via bärighetsmätning är 600 mm på denna typ av undergrund för trafikclass 3-4 enligt Mark-AMA.

Nedsjunkningen i belastningscentrum är högre vid fallviktsmätning och mätning med Argus öga än för motsvarande mätningar på grus-bitumen överbyggnader. Orsaken är troligtvis den tunna asfaltbeläggningen och avsaknaden av vanligt bärlager.

Bärigheten är högre efter en sommarperiod med liten nederbörd efter det att undergrunden torkat upp.

Enhetsöverbyggnaden uppvisar samma eller lägre tjälaktivitet som en grus-bitumen överbyggnad.

### **8.11 Byggande och ekonomi**

Enhetsöverbyggnaden är totalt sett billigare än traditionen grus-bitumen överbyggnad. den lägre kostnaden beror på: förenklat byggande (färre arbetsmoment vid överbyggnadsarbeten), minskat dagvattensystem, minskad vinterväghållning samt lägre underhållskostnader.

Flera byggtreprenörer uppger att de haft stora svårigheter med att utföra makadambärlagret och att få detta stabilt.

Ett instabilt avjämnings- eller makadambärlager ökar åtgången på beläggningssmassa.

### 8.12 Dimensionering

Enhetsöverbyggnaden dimensioneras så att den både kan bära avsedd trafiklast och magasinera perkolerat dagvatten.

Dimensionering av överbyggnaden kan göras med motsvarande tjocklek som för grus-bitumen överbyggnad i Mark-Ama 83 eller BYA-86, så att tjockleken på makadambärlager motsvaras av bärlager och förstärkningslager minus 100 mm.

Tjockleken på beläggningen av dränerade asfaltbetong ska vara större än  $80 \text{ kg/m}^2$ . Lämplig tjocklek är minst 50 mm (cirka  $105 \text{ kg/m}^2$ ).

Dimensionering av vattenmagasin kan utföras på olika sätt t ex utifrån maximalt uppträdande dygnsnederbörd för 2 års regn.

Terrassen bör ligga minst en meter över högsta årstidsbundna grundvattennivå.

Dimensionering kan också göras efter speciella avrinnings-situationer t ex regn under flera dygn eller snösmältning.

# BILAGA 1

**Förteckning över ytor med enhetsöverbyggnad**

Nr	Entr.	Projekt	Byggnads- år	Bost.	Parke- ring	Yta	larm
1	SCG	Provsträcka	1981			150	-
2	BPA	Bohus C	1981	X	X	550	-
3	GK	Industrigata I	1981			2400	-
4	GK	" II	1981			1000	-
5	BPA	Nödinge C (Park.)	1981	X	X	950	-
6	ABV	Bohus C (Park.)	1982	X	X	3500	+
7	ABV	" (Gata)	1982			100	-
8	-	Brf Åmål 3	1982	X		1100	-
9	EHAB	Digsgård I	1982	X	X	15000	-
10	BPA	Fövr.-byggnad	1982	X	X	300	-
11	BPA	Ålvängen Norra	1982	X		2000	-
12	ABV	Kv Timmermannen	1982	X		1200	-
13	SCG	Rådhuset 1	1983	X		1500	-
14	-	Kurveröd. Et 1	-	X	X	1500	Ej byggt
15	BPA	Glasberget	1983	X		2000	-
16	VIM	Åbyfältet	1983		X	10000	+
17	-	Nödinge C (Park.)	1983	X	X	1500	+
18	BPA	Ö Ångby	1983	X		5000	-
19	SCG	Nordby Motel	1983		X	112000	(+)
20	BPA	Kv Camilla, Karln,					
21	DIÖS	Kajså, Carola	1983	X		800	-
22	HÄN	Sätra 19	1983	X		4000	-
23	JCC	Röbäcksmådet I	1983	X	X	5400	-
24	SCG	Granolohm. Et 1	1983	X	X	3600	-
25	PLATZER	Båista	1983	X	X	5400	(+)
26	SIAB	Möndal	1983	X	X	4000	(-)
27	ABV	Spår.-hallar	1984	X	X	5820	-
28	SIAB	Kv. Vänerb. Gbg 48	1984	X	X	18200	+
29	SCG	Rådhuset 2	1984	X		2000	-
30	BPA	Kvibille	1984	X		1950	-
31	HÄN	Röbäcksmådet II	1984	X	X	3500	-
32	BPA	P-plats	1984		X	840	-
33	-	Ålvängen norra	1984	X		3580	(+)
34	BPA	Skepplanda A	1984	X	X	7	?
35	-	Kv Gillet	1984	X	X	800	-
36	SCG	Skee Hjältsgård	1984	X		250	(+)
37	-	Kv. Långdopparen	1984	X			
38	SCG	Forskarbyn	1984		X	2500	-
39	-	Bostadskvarter,	1984	X	X	2000	-
40	SIAB	Rudviken	1984-86	X	X	2000	-
41	Bygg-Paul	Aludden	1984	X	X	5500	-
42	IMANAB	Kv. Sjuksköterskan	1984	X	X	1350	-
43	SKANSKA	Kv. Tändstickan	1985	X	X	?	?
44	-	Kv. Asken o. Lönnen	1985	X	X	?	?
45	-	Stadsåga Sofiero	1985	X	X	?	?
46	-	Fridhemsberget	1985	X	X	2000	-
47	BPA	Skepplanda B	1985	X	X	?	?
48	SKANSKA	V:a Berget	1985	X	X		
49	BPA	Röbäcksmådet III	1985	X	X	2600	-
50	JCC	Granolohm II	1985		X	600	-
51	JCC	Alnö	1985		X	700	-
52	HÄN	Finstå	1985	X		9000	-
53	BPA	Kommunal avd. 29	1985		X	500	-
54	HÄN	Ålandsbro	1985	X		3000	-
55	SIAB	Handens Servicehus	1985		X	875	-
56	ABV	Kv. Timmermannen I	1985	X	X	2560	-
57	BPA?	Etapp 4, No1	1985		X	500	Götehus
58	IMARKB.-GR	Kvarnby	1985		X	3000	(Gator)
59	BPA	Kv. Björkavalla	1985			720	-
60	BPA	Kv. Grävmaskinen	1985-86		X	16500	(K-konsult
61	SKANSKA	Källv. - Sommarv.	1985-86		X	7100	-
62	SKANSKA	Furulund C, HSB,	1985-87	X	X	120000	-
63	-	Inkl.-Tingsv.					
64	-	Furulund,					
65	JCC	Övriga delar	1986-87	X	X	?	?
66	-	Voivobill	1985-86		X	6000	-
67	ABV	Möndal 4	1986	X	X	1550	-
68	EHAB	Digsgård II	1986	X	X	7500	-
69	?	Kv. Kopparkypen	1986		X	2600	-
70	-	Kv. Ajax o Aelius	1986	X	X	3000	-

## **BILAGA 2**

**Föroreningsinnehåll i dagvatten som påförts testboxar  
i laboratorieförsök**



Föroreningskoncentrationen i dagvatten från Ole Römersväg.

Enhet: mg/l förutom för konduktiviteten som mäts i ms/cm

Variabel	Atom- absorption	ICP- metoden
pH	7.4	
Kond.	543	
Cl	83	
Ptot	0.18	0.039
PO4-N	0.17	
Kj-N	0.35	
NH4-N	0.30	0.43
NO3-N	3.6	3.5
NO2-N	0.01	
Susp	174	
Ts	530	
Gr	459	
Gf	71	
Zn	0.145	0.005
Cd	<0.005	<0.003
Mn		0.024
Ni		<0.005
Sr		0.215
Na		62.73
Mg		5.069
Ca		52.54
K		5.192
W		0.029
Se		<0.003
Co		<0.003
Pb	0.08	<0.028
S		21.51
Cr	<0.005	<0.003
As		<0.011
Bi		<0.021
Fe		0.016
Al		0.031
B	4.3	0.026
V		<0.002
Mo		<0.002
Ti		<0.002
Hg		<0.006
Cu	0.195	0.036

Tillförd föroreningsmängd till respektive testyta.  
 Värdena i tabellen anger total tillförd mängd.  
 Enhet g

	Variabel										
	Cl	P <sub>tot</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> P	Kj- N	NH <sub>4</sub> <sup>-</sup> N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> N	Susp	Ts	Gr	Gf
Testyta											
nr 1	73	0.16	0.15	0.31	0.26	3.1	0.009	152	463	401	62
nr 2	312	0.68	0.64	1.32	1.13	13.5	0.038	654	1992	1772	267
nr 3	510	1.11	1.05	2.15	1.84	22.1	0.062	1070	3258	2821	437
nr 7	769	1.67	1.58	3.24	2.78	33.3	0.093	1612	4909	4251	658
nr 4	998	2.17	2.05	4.21	3.61	43.3	0.120	2045	6375	5521	854
nr 6	1283	2.78	2.63	5.41	4.64	55.6	0.154	2689	8191	7093	1097
nr 5											
nr 9	1419	3.08	2.91	5.98	5.13	61.5	0.171	2974	9059	7846	1213
nr 11											
nr 12											
nr 10	1494	3.24	3.06	6.30	5.40	64.8	0.180	3133	9542	8264	1278
	Cu	Zn	Pb	Cd	Cr	Al					
nr 1	0.17	0.13	0.07	0.004	0.004	3.8					
nr 2	0.73	0.55	0.30	0.019	0.019	16.2					
nr 3	1.20	0.89	0.49	0.031	0.031	26.4					
nr 7	1.81	1.34	0.74	0.046	0.046	39.8					
nr 4	2.35	1.74	0.96	0.060	0.060	51.7					
nr 6	3.01	2.24	1.24	0.077	0.077	66.5					
nr 5											
nr 9	3.33	2.48	1.37	0.085	0.085	73.5					
nr 11											
nr 12											
nr 10	3.51	2.61	1.44	0.090	0.090	77.4					

Tillförd föroreningsmängd till respektive testyta.  
Tabellen anger vattenlöslig del.

Testyta	Variabel										
	Zn	Se,Co Cr,Cd	Mn	Ni	Sr	Na *	Mg *	Ca *	K *	W	V,Mo Ti
nr 1	4.4	<2.6	21	<4.4	188	54.8	4.4	47.6	4.5	25	<1.7
nr 2	19	<11	90	<19	809	236	19	205	19	108	<7.3
nr 3	31	<18	148	<31	1323	386	31	335	32	176	<12
nr 7	47	<28	223	<47	1995	581	47	505	48	265	<18
nr 4	61	<36	289	<61	2590	755	61	656	62	344	<23
nr 6	78	<46	372	<78	3328	970	78	843	80	443	<30
nr 5 nr 9 nr 11 nr 12	86	<51	411	<86	3681	1073	87	932	88	489	<33
nr 10	91	<54	433	<91	3879	1130	100	982	93	516	<35

Testyta	S *	Pb	P	Bi	Fe	Al	As	Hg	Cu	Cl	NO3-
											N *
nr 1	19	<24	34	<18	14	27	<10	5	31	77	3
nr 2	93	<103	146	<79	60	116	<41	22	135	330	13
nr 3	132	<169	239	<129	99	191	<68	37	221	540	21
nr 7	199	<255	361	<194	149	288	<102	55	333	814	32
nr 4	259	<331	468	<252	193	373	<132	72	433	1057	41
nr 6	332	<425	602	<324	248	480	<170	92	556	1358	53
nr 5 nr 9 nr 11 nr 12	368	<470	666	<358	274	531	<188	102	615	1502	59
nr 10	388	<495	701	<377	289	559	<198	107	648	1582	62

anm. \* anger föroreningsmängd i gram (g) medan omarkerad ruta  
anger den i milligram (mg)

# BILAGA 3

Analyserade föroreningsvariabler

Föroreningsvariabler för vilka jordproverna analyserades

Järn (Fe)  
Wolfram (W)  
Vismut (Bi)  
Kalcium (Ca)  
Aluminium (Al)  
Selen (Se)  
Zink (Zn)  
Kalium (K)  
Bor (B)  
Cobolt (Co)  
Kadmium (Cd)  
Nitratkväve (NH<sub>3</sub>-N)  
Vanadin (V)  
Bly (Pb)  
Mangan (Mn)  
Molybden (Mo)  
Totalfosfor (P<sub>tot</sub>)  
Nickel (Ni)  
Ammoniumkväve (NO<sub>4</sub>-N)  
Titan (Ti)  
Svavel (S)  
Strontium (Sr)  
Kvicksilver (Hg)  
Krom (Cr)  
Natrium (Na)  
Koppar (Cu)  
Arsenik (As)  
Magnesium (Mg)



# BILAGA 4

Resultat från mätning med fallviktsdeflektometer i Lund

## Mätningar med fallviktsdeflektometer, 1986-06-05

Ole Römers väg

Yta	Sektion	Last kg	Avstånd			
			D0 mm	D200 mm	D450 mm	D900 mm
A1	350H	5163	0.704	0.435	0.183	0.084
A1	352H	5163	0.702	0.418	0.183	0.092
A1	354H	5172	0.630	0.396	0.198	0.093
A1	356H	5158	0.740	0.475	0.222	0.099
A2	362H	5146	0.839	0.543	0.240	0.086
A2	364H	5141	0.885	0.593	0.267	0.105
A2	366H	5136	0.922	0.610	0.274	0.103
A3	372H	5098	1.243	0.819	0.318	0.097
A3	374H	5098	1.240	0.834	0.322	0.103
A3	376H	5114	1.105	0.746	0.337	0.110
A4	382H	4973	2.321	1.567	0.562	0.128
A4	384H	5058	1.584	1.033	0.421	0.126
A4	386H	5035	1.781	1.179	0.514	0.132
A5	392H	5162	0.711	0.561	0.287	0.084
B5	394H	4800	3.904	2.399	1.023	0.234
B5	396H	4654	5.339	3.579	1.521	0.517
B4	402H	5137	0.920	0.649	0.370	0.184
B4	404H	5074	1.444	0.993	0.493	0.166
B4	406H	5061	1.552	1.064	0.492	0.155
B3	412H	5128	0.991	0.696	0.358	0.135
B3	414H	5127	0.997	0.693	0.361	0.146
B3	416H	5112	1.128	0.780	0.394	0.149
B2	421H	5115	1.098	0.778	0.388	0.157
B2	423H	5137	0.917	0.638	0.329	0.159
B2	425H	5133	0.953	0.652	0.332	0.147
B1	431H	5133	0.952	0.634	0.294	0.137
B1	433H	5143	0.869	0.557	0.273	0.134
B1	435H	5144	0.861	0.585	0.275	0.132

Mätningar med fallviktsdeflektometer, 1986-06-05  
Parkeringsytor inom Ideon, Lund

Yta	Sektion	Last kg	Avstånd			
			D0 mm	D200 mm	D450 mm	D900 mm
C1	13	5142	0.879	0.531	0.209	0.098
C1	17	5153	0.788	0.485	0.202	0.096
C1	21	5152	0.792	0.490	0.194	0.089
C1	25	5154	0.776	0.514	0.237	0.119
C1	29	5142	0.874	0.561	0.237	0.113
C2	6	5140	0.890	0.577	0.250	0.112
C2	10	5157	0.750	0.461	0.213	0.111
C2	14	5146	0.839	0.533	0.223	0.105
C2	18	5132	0.955	0.613	0.262	0.116
C2	22	5130	0.970	0.638	0.283	0.124
C3	2	5116	1.094	0.734	0.362	0.157
C3	8	5116	1.091	0.692	0.275	0.113
C3	12	5121	1.051	0.664	0.269	0.103
C3	16	5131	0.967	0.630	0.269	0.099
C3	20	5135	0.933	0.594	0.259	0.093
C4	1	5100	1.223	0.803	0.382	0.138
C4	5	5108	1.160	0.757	0.348	0.131
C4	9	5112	1.129	0.723	0.315	0.121
C4	13	5117	1.081	0.706	0.306	0.104
C4	17	5109	1.148	0.725	0.299	0.106

Brunn!

# BILAGA 5

Temperaturmätning, yta E1-E4 och F1, i Sundsvall vintern 1985/86 samt 3-4/5 1986

Temperaturmätningar i Sundsvall ÖKORRIBERADE VARDEN

1985

Ar	7/11	12/11	19/11	25/11	02/12	10/12	17/12	1/2	26/2	2/4	7/4	14/4	21/4	28/4
Datum	15.00	7.30	8.00	8.15	8.15	8.30	8.30	9.30	11.00	9.15	9.15	07.30	7.15	6.30
Klockslag	0.8	3.3	-9.6	-0.9	-2.6	-12.1	-10.2	-1.2	-0.4	1.9	-0.9	-3.4	-1.2	3.4
Yttemp	-0.2	2.5	-12.6	-4.0	-8.2	-17.4	-15.6	-4.1	0.3	0.1	0.4	0.0	-2.3	-0.8
Medeldygn	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

1986

Ar	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5	4/5	5/5
Datum	6.30	7.00	10.00	12.50	13.00	18.50	22.00	06.30	06.30	06.30	06.30	06.30	06.30	06.30	06.30
Klockslag	4.7	4.9	11.7	15.7	16.0	9.9	4.7	3.2	18.8						
Yttemp	1.9	2.5	4.8	4.9	5.0	4.2	2.1	2.3	8.7						

Dygnstemperatur i Sundsvall, 3 maj 1986.

1986

Ar	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5	3/5	4/5	5/5
Datum	6.30	7.00	10.00	12.50	13.00	18.50	22.00	06.30	06.30	06.30	06.30	06.30	06.30	06.30	06.30
Klockslag	4.7	4.9	11.7	15.7	16.0	9.9	4.7	3.2	18.8						
Yttemp	1.9	2.5	4.8	4.9	5.0	4.2	2.1	2.3	8.7						

Niva (räknat från ytan)

E1:1	Niva 1	3.7	3.8	4.0	9.4	11.1	12.6	7.7	3.3	15.6
	Niva 2	4.4	4.5	3.8	2.8	3.7	4.6	5.4	5.0	3.9
	Niva 3	2.6	2.1	1.4	2.3	2.3	2.7	3.2	2.6	
	Niva 4	0.6	0.6	0.2	-0.4	0.4	0.6	0.8	1.1	1.2
	Niva 5	0.4	0.4	-0.1	-0.7	0.2	0.3	0.4	0.7	0.5
E1:2	Niva 1	5.2	5.1	4.3	4.5	5.5	7.5	7.6	3.3	5.8
	Niva 2	3.8	3.8	2.9	2.4	3.3	3.6	4.0	3.3	3.8
	Niva 3	1.8	1.8	1.0	0.7	1.6	1.5	1.8	3.3	2.0
	Niva 4	0.3	0.2	-0.5	-0.7	-0.0	-0.1	0.3	0.5	0.0
	Niva 5	0.4	0.3	-0.5	-0.7	0.0	0.0	0.3	0.6	0.1
F1	Niva 1	4.9	4.9	7.1	10.6	11.7	12.1	8.7	3.4	12.7
	Niva 2	4.1	4.0	2.7	2.6	3.3	3.9	4.6	3.2	3.9
	Niva 3	2.4	2.3	1.3	1.3	1.9	2.1	2.4	3.3	2.6
	Niva 4	0.6	0.4	-0.7	-0.6	0.1	0.3	0.6	0.9	0.5
	Niva 5	0.3	0.1	-1.2	-1.1	-0.3	-0.2	0.2	0.4	-0.3
E2	Niva 1	6.6	6.7	7.3	9.4	10.3	11.9	10.5	7.2	11.1
	Niva 2	7.0	7.0	5.6	5.4	6.1	7.2	8.2	7.7	6.7
	Niva 3	2.8	2.7	1.7	1.6	2.3	2.3	2.8	3.0	2.5
	Niva 4	2.6	2.6	1.6	1.5	2.3	2.3	2.8	2.9	2.5
	Niva 5	2.1	2.0	1.0	1.1	1.8	1.9	2.2	2.4	1.9
	Niva 6	1.9	1.9	0.7	0.8	1.5	1.6	2.0	2.1	1.5
E3	Niva 1	4.0	3.9	7.4	11.4	12.5	11.5	7.7	3.9	13.6
	Niva 2	5.0	4.8	3.4	3.6	4.1	5.8	6.5	5.3	4.6
	Niva 3	1.0	0.8	-0.1	-0.0	0.7	0.8	1.3	1.5	1.0
	Niva 4	0.4	0.0	-0.8	-0.7	-0.0	0.2	0.5	0.6	-0.2
	Niva 5	0.4	0.2	-0.6	-0.6	0.2	0.3	0.6	0.6	-0.2
	Niva 6	0.4	0.2	-0.6	-0.6	0.2	0.3	0.6	0.6	-0.2
E4	Niva 1	4.3	4.2	9.4	14.0	15.1	13.0	7.6	4.0	17.3
	Niva 2	1.8	1.4	0.6	0.7	1.6	1.7	2.1	2.3	1.8
	Niva 3	4.8	4.7	0.4	-0.4	0.4	0.5	0.9	0.9	0.3
	Niva 4	0.7	0.4	-0.4	-0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	-0.2
	Niva 5	0.4	0.1	-0.7	-0.7	0.2	0.3	0.5	0.6	-0.2
	Niva 6	0.6	0.4	-0.4	-0.4	0.4	0.4	0.4	0.7	0.8

Niva (räknat från ytan)

E1:1	Niva 1	-8.6	-5.0	-7.8	-15.7	-15.1	-5.6	-6.9	-2.2	-0.8	-3.4	-1.7	0.4
	Niva 2	2.2	-2.9	-3.1	-5.3	-8.4	-8.7	-4.8	-6.8	-2.2	0.2	0.0	-0.3
	Niva 3	3.8	2.7	-0.6	-2.0	-4.0	-4.5	-4.0	-5.1	-2.4	-0.8	-0.9	0.3
	Niva 4	4.7	3.7	1.7	-0.1	-0.9	-1.4	-1.5	-3.0	-2.9	-2.2	-1.3	-1.5
	Niva 5	5.9	5.0	3.2	1.9	0.6	-0.2	0.4	-1.9	-1.1	-2.1	-1.3	-1.5
E1:2	Niva 1	1.8	1.3	-5.9	-4.4	-6.9	-11.7	-11.1	-5.6	-9.4	-2.0	-0.4	-0.3
	Niva 2	2.7	2.0	-1.9	-3.0	-4.4	-7.3	-7.4	-4.8	-8.0	-2.2	-0.6	-0.5
	Niva 3	3.6	2.8	0.1	-1.3	-2.3	-3.6	-4.3	-4.1	-5.9	-2.3	-1.9	-1.2
	Niva 4	4.2	3.6	1.5	0.0	-1.0	-1.8	-2.3	-3.4	-4.2	-2.5	-2.3	-1.9
	Niva 5	5.6	4.9	3.2	2.2	0.6	-0.4	-0.8	-2.0	-1.5	-2.2	-2.3	-1.6
F1	Niva 1	0.6	1.3	-10.0	-3.7	-7.0	-15.1	-14.7	-5.4	-8.2	-1.9	-2.1	-1.2
	Niva 2	2.5	2.3	-0.6	-1.4	-3.4	-6.2	-7.2	-4.7	-7.6	-2.2	-2.2	-0.6
	Niva 3	3.0	2.8	0.6	-0.5	-1.8	-3.6	-5.2	-4.3	-7.0	-2.3	-2.8	-1.0
	Niva 4	3.7	3.4	1.6	0.6	-0.6	-1.7	-2.5	-3.6	-5.5	-3.2	-1.9	-1.6
	Niva 5	4.7	4.6	3.0	2.1	0.7	-0.6	-1.2	-2.6	-3.3	-2.5	-3.1	-2.0
E2	Niva 1	0.2	0.6	-11.1	-5.6	-9.1	-15.8	-16.2	-4.8	-10.5	-1.1	-0.3	-0.4
	Niva 2	2.4	1.9	-3.6	-3.0	-4.7	-7.7	-8.8	-3.4	-7.6	-0.8	2.7	2.3
	Niva 3	6.2	6.1	4.6	3.3	2.3	1.6	0.5	-1.1	-1.7	-0.4	1.0	1.0
	Niva 4	6.2	6.1	4.9	3.5	2.4	1.8	0.7	-1.0	-1.4	-0.4	1.1	1.3
	Niva 5	6.3	6.3	5.6	4.3	3.2	2.6	1.6	-0.5	-0.9	-0.5	0.7	0.8
	Niva 6	6.9	6.8	6.2	5.2	4.0	3.4	2.4	0.0	-0.4	0.4	0.6	0.9
E3	Niva 1	-0.3	0.8	-12.3	-4.2	-7.3	-17.4	-16.7	-4.7	-8.3	-1.4	-3.1	-3.5
	Niva 2	2.2	2.2	3.3	-2.6	-4.5	-8.5	-8.6	-3.8	-8.4	-1.5	0.4	0.5
	Niva 3	4.2	3.9	3.9	2.5	1.2	1.0	0.2	-1.2	-1.9	-1.7	-1.0	-1.1
	Niva 4	5.3	4.9	3.9	2.5	1.2	1.0	0.2	-1.2	-1.9	-1.7	-1.0	-1.1
	Niva 5	5.7	5.4	4.4	3.2	1.8	1.6	0.7	-0.9	-1.2	-1.4	-0.9	-1.0
E4	Niva 1	-1.0	0.5	-15.3	-5.0	-9.0	-19.3	-18.3	-5.2	-7.9	-1.6	-2.5	-4.3
	Niva 2	4.0	3.6	2.0	0.7	-0.6	-0.9	-1.7	-2.8	-3.9	-1.7	-1.2	-0.6
	Niva 3	4.9	4.5	3.4	2.1	0.6	0.1	0.8	-2.0	-2.3	-1.7	-1.1	-1.0
	Niva 4	5.6	5.2	4.3	3.2	1.4	0.8	0.2	-1.2	-1.4	-1.6	-1.2	-1.0
	Niva 5	6.7	6.1	5.3	4.6	2.7	2.0	1.0	-0.6	-0.7	-1.2	-0.8	-0.5

# BILAGA 6

Temperaturmätning, yta C1 och D1, inom Ideon Lund 1986/87



Temperaturmätningar i Lund, Ideon yta C3 och D1

Datum	19/12	22/12	23/12	29/12	7/1	12/1	15/1	20/1	23/1	27/1	2/2	6/2	13/2	20/2	3/3
Kl	0830	0800	0800	0930	0830	0830	0830	0830	0830	0830	0900	0830	0820	0830	0830
Luft	3.0	-1.5	-5.0	2.9	-16.4	-19.3	-4.0	-5.9	-0.4	-7.7	-3.8	2.0	-0.4	-6.6	
Väder	SNDAR	VAXL	VAXL	VAXL	VAXL	VAXL	MULET	MULET	MULET	K	K	REGN	DIS	K	K
Ans									TOAR					SND	

Yta C3 (enhetsöverbyggnad)

Station/djup

2:2	3.1	2.8	-3.2	0.9	-3.8	-11.5	-6.2	-3.1	-1.3	-3.5	-0.3	-0.2	0.0	-7.4	-7.7
2:4	3.8	4.5	0.3	2.0	1.4	-3.3	-3.3	-0.9	-0.6	-0.2	0.6	-0.1	0.0	-3.7	-3.1
2:5	5.2	5.6	2.4	2.8	2.7	0.7	-1.1	0.0	0.1	0.1	0.6	-0.1	0.0	-2.0	-1.4
4:1	0.7	1.3	-6.3	0.8	-12.7	-16.7	-5.5	-6.8	-1.4	-8.2	-5.2	1.3	0.1	-13.0	-13.9
4:2	3.2	3.1	-3.1	1.0	-5.6	-11.8	-5.6	-3.4	-0.8	-3.5	-1.3	0.1	0.0	-7.2	-7.7
4:3	4.1	4.2	-0.8	1.7	-1.7	-7.5	-4.5	-1.9	-0.6	-1.1	-0.2	0.0	0.0	-4.4	-4.7
4:4	4.7	5.0	0.9	2.5	0.4	-4.0	-2.9	-0.9	-0.2	-0.1	0.2	0.1	0.0	-2.7	-2.9
4:5	5.4	6.1	2.9	3.3	2.1	0.0	-1.0	0.0	0.4	0.5	0.4	0.1	0.1	-0.7	-1.0
5:1	0.6	0.3	-6.0	0.7	-12.9	-17.1	-5.2	-6.8	-0.9	-8.5	-5.7	0.3	0.2	-13.7	-13.7
5:2	2.9	2.7	-3.0	0.8	-5.9	-12.6	-5.6	-3.6	-0.6	-3.5	-1.7	0.0	0.1	-7.9	-8.1
5:5	5.3	6.0	3.2	3.2	2.2	0.2	-0.6	0.1	0.6	0.2	0.4	0.3	0.1	-0.8	-0.7

Yta D1 (grus/bitumenöverbyggnad)

Djup (cm från ytan)

7	3.2	0.7	-1.0	0.0	-5.8	-12.5	-6.4	-4.9	-0.9		-6.2	-1.4	-0.6		
20	3.6	1.1	-0.2	-0.2	-4.3	-11.4	-6.2	-4.3	-1.1		-4.6	-1.6	-0.8		
30	3.8	1.4	0.3	-0.2	-3.1	-10.6	-6.2	-3.9	-1.3		-3.3	-1.7	-1.0		
40	4.2	1.9	0.9	-0.1	-1.2	-9.4	-5.9	-3.2	-1.4		-2.8				
48		2.4	1.3	0.1	-0.2	-7.8	-5.5	-2.7	-1.4			-2.0	-0.7		
60	4.8	3.1	1.7	0.6	1.0	-5.6	-4.9	-2.2	-1.5		-2.0	-2.0	-0.7		
75	5.4	4.0	3.0	1.4	1.6	-2.3	-3.4	-1.4	-1.2		-1.8				

Yta

# BILAGA 7

Enkät till byggnadsentreprenörer

BYGGANDE

1. Är detta Ert första enhetsöverbyggnadsprojekt?  Ja  Nej
2. Vad är det för typ av objekt?  
 Bostadsområde, körbara gc-ytor  
 Parkering  Lokalgata  
 .....
3. Hur många m<sup>2</sup> omfattar objektet?  
 .....m<sup>2</sup>
4. Fyll i nedanstående figur



- f. Geotextil, typ .....
- g. Terrassmaterial .....

PRODUKTION

5. Under vilken tid på året genomfördes anläggandet?  
 .....  
 Blött  Tidvis blött  
 Torrt
6. Hur var väderleken?  
 Ja  Nej
7. Tog anläggandet längre tid än ett vanligt traditionellt objekt hade tagit?  
 Ja  Nej
- 8a. Har geotextil använts?  
 Ja  Nej
- b. Om ja, har problem vid utläggning resp skarvning förekommit?  
 Ja  Nej
9. Har avvättning från kringliggande besyggelse kunnat leda ut i vägkroppen?  
 Ja  Nej
- 10a. Har brunnar använts i konstruktionen?  
 Ja  Nej
- b. Om ja, vilken typ av brunn har använts?  
 Mer  Mindre
11. Har det gått åt mer eller mindre mängd makadam än den teoretiskt beräknade?  
 Mer  Mindre
12. Vem var makadamleverantör?  
 .....
13. Vilken typ av vält har använts vid packningen av makadamen?  
 Vibrationsvält  
 Statisk vält
14. Har det gått åt mer eller mindre mängd avfyllningsmaterial än den teoretiskt beräknade?  
 Mer  Mindre
- 15a. Har avfyllningslagret medfört några problem för utläggning och hållbarhet hos asfalten?  
 Ja  Nej
- b. Om ja, på vilket sätt?  
 .....
16. Har det gått åt mer eller mindre mängd Drainor än den teoretiskt beräknade?  
 Mer  Mindre
17. Vem har utfört beläggningsarbetet?  
 .....
18. Vem har levererat beläggningsställande?  
 Ja  Nej
19. Har Drainoren fungerat tillfredsställande?  
 Ja  Nej
20. Har avvägningsarbetet kunnat förklaras?  
 Ja  Nej
21. Har enhetsöverbyggnaden använts som provisorisk väg under byggtiden?  
 Ja  Nej
22. Hur har man i så fall skyddat konstruktionen?  
 .....
23. Har denna konstruktion varit mer besvärlig att utföra än en traditionell konstruktion?  
 Ja  Nej, ingen skillnad  
 Nej, mindre besvärlig

EKONOMI

24. Har bygget krävt en dyrare maskin-  Ja  Nej. Ingen skillnad  
park?
25. Vad har geotextilen kostat? ..... kr/m<sup>2</sup>
- 26a. Har materialet i konstruktionen  Ja  Nej  
krävt dyra transportkostnader?
- b. Om ja, hur mycket dyrare? .....
27. Vad kostar en m<sup>3</sup>  
- grus ..... kr/ton  
- makadam ..... kr/ton  
på orten? .....
28. Vad kostar Drainoren? ..... kr/ton
29. Vad kostar en motsvarande HAB? ..... kr/ton
30. Hur mycket har de provisoriska vägarne kostat jämfört med ett motsvarande traditionellt utförande? .....
31. Hur stor är den ungefärliga byggkost- Beräknad enl Slutgiltig  
naden för anbud ..... kr ..... kr  
a. - enhetsöverbyggnad ..... kr ..... kr  
b. - motsvarande traditionell vägkropp ..... kr ..... kr
32. Vem var objektets beställare/förval-  
tare? .....
33. Speciella problem .....
34. Eget omdöme av byggande med enhets-  
överbyggnad .....





# BILAGA 8

Enkät till områdesförvaltare

1. Vad är det för typ av objekt?  
 Parkering  Lokalgata  
 .....  
 ..... m<sup>2</sup>  
 .....
2. Antal m<sup>2</sup> enhetsöverbyggnad

## VINTERVÅRHÅLLNING

- 3a. Kan samma typ av salt användas som vid vanlig beläggning?  
 Ja  Nej
- b. Om nej, vilken typ användes?  
 .....
4. Vad kostar saltet?  
 .....
5. Behöver man salta oftare?  
 Ja  Nej, lika ofta  
 Nej, mer sällan
- 6a. Behöver man salta lika mycket per gång som vid vanlig beläggning?  
 Ja  Nej, lika mycket  
 Nej, mindre
- 6b. Hur mycket mer eller mindre salt åtgår under en vinter?  
 .....
7. Kan samma typ av sand användas som vid vanlig beläggning?  
 Ja  Nej
8. Vilken fraktion används?  
 .....
9. Vad kostar sanden?  
 .....
10. Behöver man sanda oftare?  
 Ja  Nej, lika mycket  
 Nej, mer sällan
11. Behöver man sanda lika mycket per gång som vid vanlig beläggning?  
 Ja  Nej, lika mycket  
 Nej, mindre
12. Hur mycket mer eller mindre sand åtgår under en vinter?  
 .....
13. Har snöröjningsarbetet minskat?  
 Ja  Nej
14. Om ja, i så fall i vilken utsträckning?  
 ..... tim
15. Har vattensamlingar bildats på vägytan?  
 Ja  Nej
16. Har halkproblemen minskat?  
 Ja  Nej
17. Har enhetsöverbyggnaden medfört minskad vintervårdhållning totalt?  
 Ja  Nej

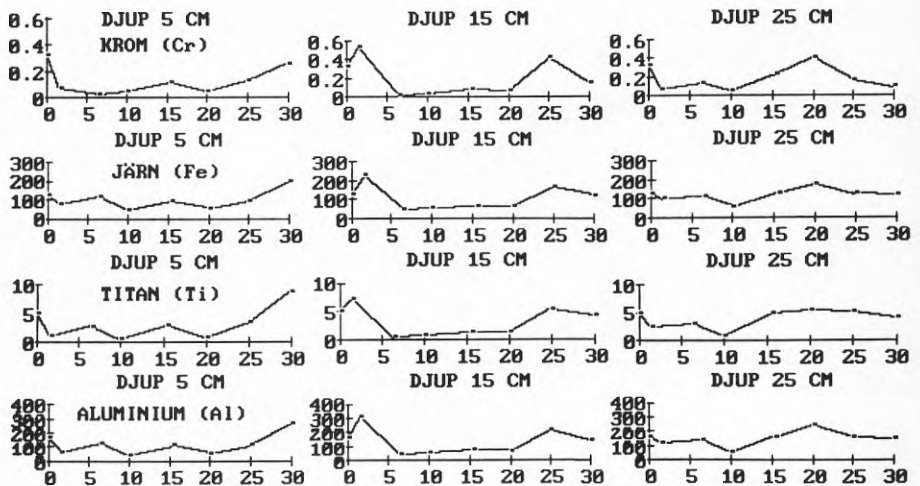
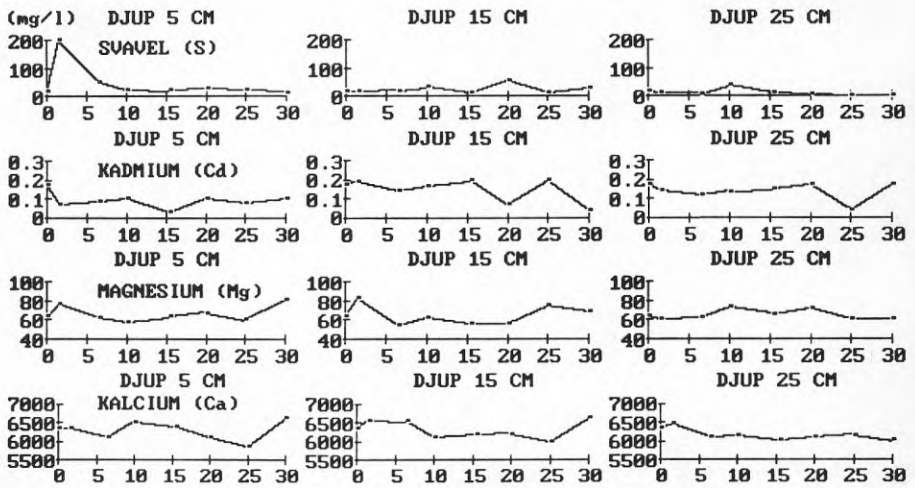
18. Har omfattningen av tvättning av skyttar och räcken minskat?  
 Ja  Nej
19. Har barmarkarehållningen minskat?  
 Ja  Nej
20. Finns det brunnar på området?  
 Ja  Nej
21. Hur mycket har man besparat på brunnrensning?  
 ..... Kr
22. Hur stora besparingar på driftkostnaden har man kunnat göra med enhetsöverbyggnaden?  
 ..... Kr

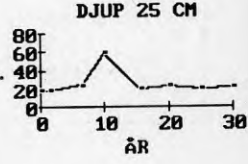
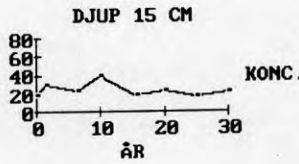
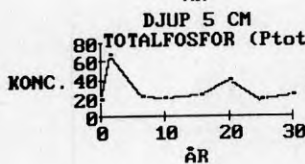
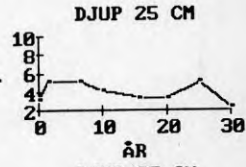
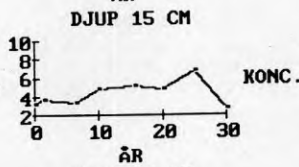
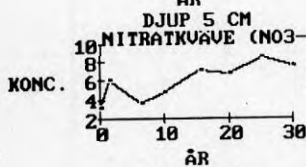
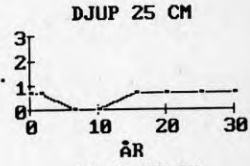
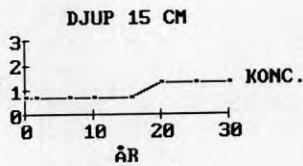
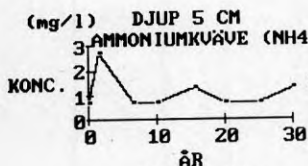
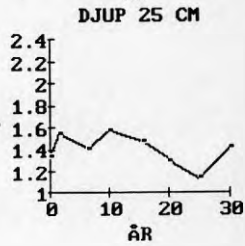
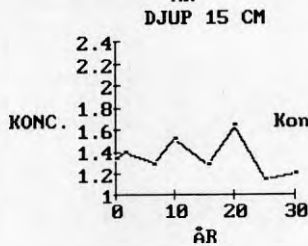
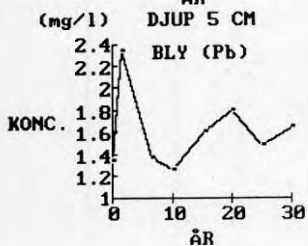
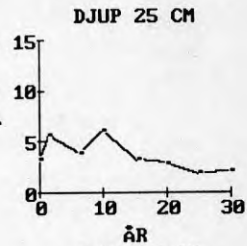
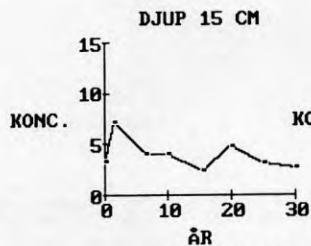
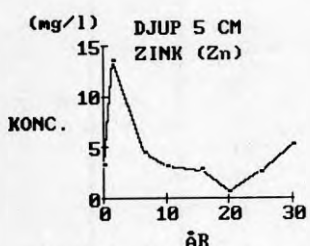
## UNDERHÅLL

1. Vilka typer av beläggningsskador har uppstått?  
 Sprickor  Spårbildning  
 Potthål  Sättningar  
 Blödning  Krackeleringar  
 .....  Inga skador
2. Kr omfattningen större än motsvarande traditionell konstruktion?  
 Ja  Nej, lika stor  
 Nej, mindre
3. Är det svårare att åtgärda skadorna?  
 Ja  Nej, lika svårt  
 Nej, lättare
4. Vilka reparationsmetoder används?  
 .....
5. Bibehåller vägen sin dränerande förmåga efter en reparation?  
 Ja  Nej
6. Har ni någon uppfattning om vägkroppens/beläggningens livslängd?  
 ..... år
7. Hur mycket ungefär har kostnadsmassigt besparats varje år?  
 ..... Kr

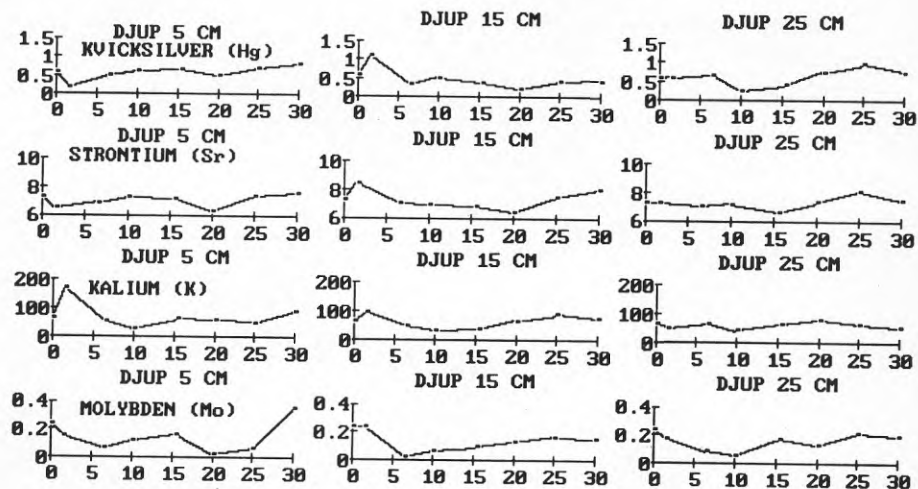
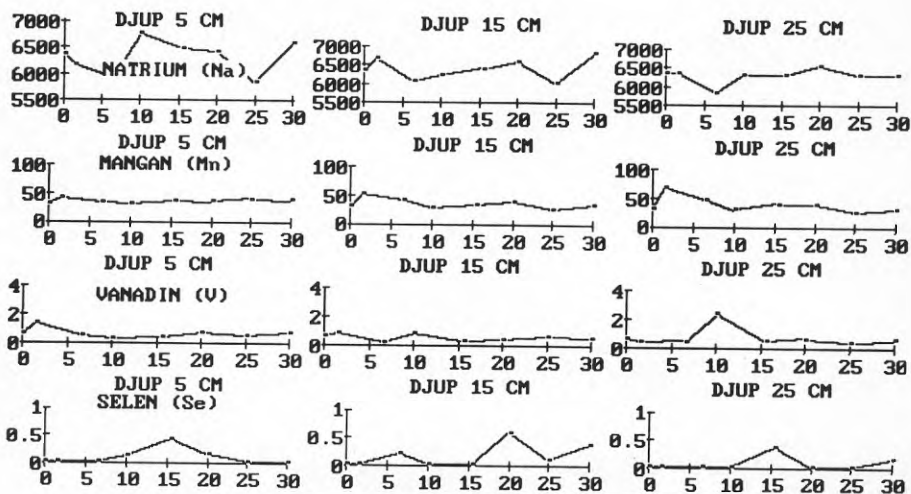
# BILAGA 9

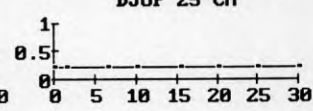
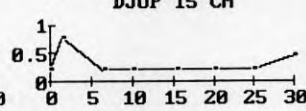
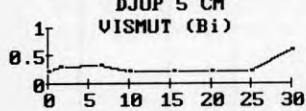
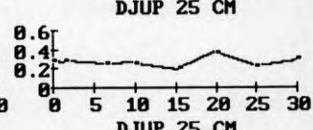
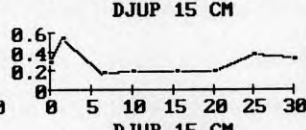
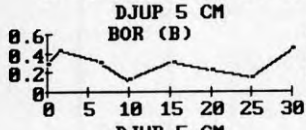
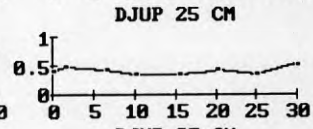
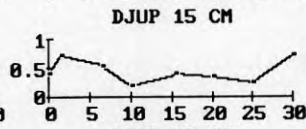
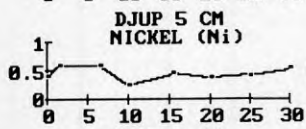
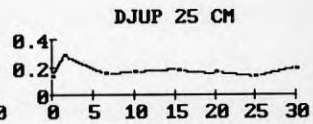
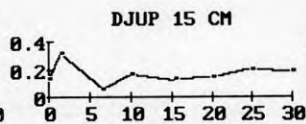
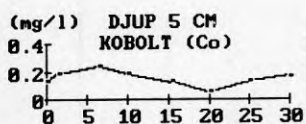
Föroreningskoncentrationer på olika nivåer i enhetsöverbyggnad  
vid laboratorieförsök











## 9 REFERENSER

APWA. American Public Works Association, Water Pollution Aspects of Urban Runoff. Water Pollution Control Research Series, Federal Water Pollution Control Administration, Report No Wp-20-15. 1969. USA.

Asphalt Institute. Soils Manual MS-10. 1978.

B7:1972, Bygghögskolans informationsblad

Bruemmer, G.W, J Gerth, and U. Hermes, Heavy Metal Species, Mobility and Availability in Soils. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 149, 382-398, 1986.

Byggnadstekniska anvisningar, BYA, Vägverket, 1984

LaFever M. Rod Guidelines & Specs for Porous Paving. 424-8000 extension 218.

R. Field. State of the Art on Combined Sewer Overflow Control. CRC, Critical Reviews in Environmental Control. Volume 16. Issue 2.

Gburek, W,J and Urban J, B. Storm Water Detention and Groundwater Recharge using Porous Asphalt - Initial Results. The International Symposium on Urban Storm Runoff, July 28-31, 1980, Lexington, Kentucky, USA.

Hall, J, Hogland, W, Jönsson, L och Wahlman, T. Vatten och Föroreningstransport i en Enhetsöverbyggnad. Symposium om Grundvattenförsörjning. Vatten nr 4, 1988.

Hogland, W, Larson, R, Niemczynowicz, J och Wahlman, T. Studier kring öppna överbyggnader. Väg och Vattenbyggaren nr 9, 1986.

Hogland, W and Niemczynowicz, J. The Unit Superstructure-A new construction to Prevent Groundwater Depletion. Conjunctive Water Use. Proceedings of the Budapest Symposium, July 1986 and IAHS Publ. No 156, 1986.

Hogland, W, Niemczynowicz, J and Wahlman, T. The Unit Superstructure during the Construction Period. The Science of the Total Environment, 59 (1987) 411-424. Elsevier Science Publishers B.V, Amsterdam. The Netherlands.

Hogland, W. Reduzierung des Regenwasserabfluss im Stadtgebiet.- Erfahrungen aus Schweden. Institut für Städtebau und Landesplanung, Universität Karlsruhe. 1987.

Hogland, W. Schwedische Erfahrungen mit Dränasphalt. Institute für Städtebau und Landesplanung, Universität Karlsruhe. 1987.

Hogland, W, Forss, S, Larson, R och Wahlman, T. Inledande Studier av rengöringsutrustning för dränerande asfaltbeläggningar. Inst. för Teknisk Vattenresurslära, Lunds Tekniska och Naturvetenskapliga Högskola. 1987.

Larsson, R. Enhetsöverbyggnad. Intern utvecklingsrapport 13/81. 1981.

Lindh, G, Falkenmark, M. Hydrologi -en inledning till vattenresursläran. Studentlitteratur 1972.

Malmquist P-A och Hård, S. Grundvattenpåverkan på dagvatteninfiltration. Geohydrologiska forskningsgruppen, CTH, Meddelande nr 59, 1981. Mark-Ama 83

Morrison, G, M, P, Revitt, D, M, Ellis, J, B, Balmér, P and Svensson, G, Heavy Metal Partitioning between the Dissolved and Suspended Solid Phases of Storm- Water Runoff from Housing Estate. International Symposium on Highway Pollution, 6-9 September, 1983, Middlesex Polytechnic, UK.

Murphy, C.B et al., Quinn, T.J and Stewart, J.E., Best Management Practices USEPA Report No EPA-905/9-81-002, NTS 82-169210, 1981, USA.

Niemczynowicz, J och Hogland, W. Konsekvensanalys av enhetsöverbyggnad -exempel från Glasberget i Mölndal. Vatten 41: Lund 1985.

Raimbault, G, Balades, J-D, and Faure-Soulet, A. Quatre Experimentations francaises de chausse'es poreuses. Bull.liaison Labo P et Ch - 137 mai-juin, 1985.

SCW, Proceedings of International Symposium on Porous Asphalt. 14a Jansbuitensingel, Arnhem, The Netherlands, 1977.

Shaheen, D, G. Contribution of Urban Roadway Usage to Water Pollution, USEPA 600/2-75-004, 1975, Washington D C, USA.

SNV, 1983. Dagvattenhantering -planering och miljöeffekter. Naturvårdsverkets meddelande 1/1983.

Stahre, P. Flödesutjämning i avloppsnät, Byggforskningsrådet, T13:1981.

Stöjssvage beläggningar i Japan, fra en studietur i november 1988, Vejdatalaboratoriet, Vejdirektoratets notat nr 1 1989.

Urban, J and W, J, Gburek. Storm Water Detention and Groundwater Recharge Using Porous Asphalt- Experimental Site. International Symposium on Urban Storm Runoff, July 28-31, 1980, Lexington, Kentucky.

Wahlman, T. Argus Öga. Bärighetsmätningar med statisk belastning och optisk mätmetod, LTH 1988.

Wigington, P, J, Clifford, W,R and Gruzzard, J, T. Accumulation of Selected Trace Metals in Soils of Urban Runoff Detention Basins, Vol 19, No 5, Water Resources Bulletin, American Water

WRA, Inspectors Guidelines Manual for Stormwater Management Infiltration Practices. Maryland Department of Natural Resources, Water Resources Administration, Sediment and Stormwater Division, Tawes State Office Building Annapolis, Maryland 21401, 1985. Resources Association. 1983, USA.

Wågberg, L-G, Rensning av dränerande asfaltbetong genom högtryckspolning - Laboratorieförsök på beläggningsprov. VTI,1987.







Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 841198-6  
från Statens råd för byggnadsforskning till Lunds tekniska  
högskola, Teknisk vattenresurslära och Vägbyggnad, Lund.

R90:1990

ISBN 91-540-5264-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6801090

Abonnemangsgrupp:  
X. Samhällsplanering  
V. Anläggningsteknik

Distribution:  
Svensk Byggtjänst  
171 88 Solna

Cirka pris: 81 kr exkl moms