

# Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen

Nr. 53 1994

**Genanvendelse af nedknust  
byggeaffald i vejbygning**

**Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen  
Nr. 53 1994**

**Genanvendelse af nedknust  
byggeaffald i vejbygning**

**Pilotprojekt, Engbakken, Skibet ved Vejle**

Axel Nielsen - Carl Bro A/S

Rapporten er udarbejdet med tilskud fra Rådet vedr. genanvendelse og mindre forurenende teknologi.

Det skal bemærkes, at de fremsatte synspunkter ikke nødvendigvis dækkes af Rådet eller Miljøstyrelsen.

# Indhold

|          |                                   |           |
|----------|-----------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Resumé</b>                     | <b>5</b>  |
| <b>2</b> | <b>Indledning</b>                 | <b>7</b>  |
| 2.1      | Baggrund                          | 7         |
| 2.2      | Projektbeskrivelse                | 7         |
| 2.3      | Projektorganisation               | 8         |
| 2.4      | Arbejdsrapport                    | 8         |
| <b>3</b> | <b>Projekttaktiviteter</b>        | <b>9</b>  |
| 3.1      | Knusning og sortering             | 9         |
| 3.2      | Materialespecifikationer          | 9         |
| 3.3      | Indbygning                        | 11        |
| 3.3.1    | <i>Valg af prøvestrækninger</i>   | 11        |
| 3.3.2    | <i>Udbudsbetingelser</i>          | 12        |
| 3.3.3    | <i>Udførelse</i>                  | 12        |
| 3.3.4    | <i>Kontrol under udførelse</i>    | 13        |
| 3.4      | Efterkontrol                      | 14        |
| 3.4.1    | <i>Bæreevneeftervisninger</i>     | 14        |
| 3.4.2    | <i>Trafiktælling</i>              | 14        |
| 3.4.3    | <i>Kontrolnivelement</i>          | 14        |
| <b>4</b> | <b>Resultater og konklusioner</b> | <b>19</b> |
| 4.1      | Materialeanalyser                 | 19        |
| 4.2      | Indbygningsegenskaber             | 20        |
| 4.3      | Bæreevne/levetid                  | 21        |
| 4.4      | Tekniske og økonomiske erfaringer | 24        |
| 4.5      | Fremtidsvurderinger               | 25        |
| <b>5</b> | <b>Litteraturliste</b>            | <b>27</b> |



# 1 Resumé

I 1990 blev et pilotprojekt - for genanvendelse af nedknust byggeaffald i lettere belastede veje - igangsat.

Den valgte prøvestrækning er en ca. 160 m lang boligvej, beliggende i Vejle Kommune. Materialerne er indbygget i forskellige kombinationer med normale vejbygningsmaterialer i 5 prøvestrækninger.

Til vejprojektet blev anvendt nedknust beton i fraktionerne 0-32 mm og 32-55 mm. På en fortovsstrækning blev der, under fliserne, anvendt knust tegl i fraktionen 0-8 mm.

Entreprenørarbejdet blev gennemført i efteråret 1990.

Måle- og kontrolaktiviteter er udført før, under og efter entreprenørarbejdet, og langtidskontrol er fortsat i 2½ år, indtil foråret 1993.

Projektets resultater viser, at nedknust beton har gode udlægnings-egenskaber, og specielt gode drænegenskaber i forhold til traditionelle grusbærelag.

Bæreevne- og levetidsvurderinger viser, at den knuste beton generelt har bedre egenskaber end normale traditionelle grusmaterialer, selv om kornfordelingen ikke opfylder kravene til stabilt grus.

Ved nivellements kontrol efter vejens færdiggørelse er der - med enkelte lokale afvigelser - generelt konstateret små bevægelser (+3 mm til ÷6 mm) - med en tendens til blivende sætninger på 4-6 mm. Disse små bevægelser vurderes på ingen måde at give anledning til skader på vejen.

Nivellementet af fortovsfliserne viser lidt større bevægelser end vejen - og der er hovedsageligt registreret sætningstendenser. Strækningen med knust tegl afviger ikke væsentligt fra strækningen på almindeligt afretningsgrus. Dog må der tages højde for knust tegls vandopsugningsevne, hvilket blandt andet kan give anledning til frosthævninger.

På baggrund af resultaterne vurderes knust beton at være et teknisk bedre alternativ til normale grusbærelag i vejbygning og økonomisk fordelagtigt på grund af de pålagte afgifter ved deponering og/eller råstofindvinding.

Knust tegl kan anbefales anvendt som flisegrus på gang- og stiarealer, hvorimod det ikke umiddelbart kan anbefales at udlægge knust tegl som bærelag i betydende, trafikbelastede veje.



## 2 Indledning

### 2.1 Baggrund

Under henvisning til Lov om genanvendelse og begrænsning af affald ansøgte Axel Nielsen as - i april 1989 - om støtte til planlægnings- og kontrolaktiviteter ved gennemførelse af projektet:

*Genanvendelse af nedknust byggeaffald i lettere belastede veje.*

Den 7. juli 1989 blev der fra Miljøstyrelsen givet tilsagn om støtte til det ansøgte projekt - ved Rådet vedrørende genanvendelse og mindre forurenende teknologi.

#### *Fuldskalaforsøg*

Projektet har til formål - ved fuldskalaforsøg - at afprøve anvendelsen af nedknuste byggematerialer (overvejende beton) til bærelag m.v. i forbindelse med en normal vejbygningsentreprise, således at der tilvejebringes tekniske og økonomiske erfaringer til brug for udarbejdelse af anvisninger vedr. genanvendelse af bygge- og anlægsaffald i vejbygningssektoren.

### 2.2 Projektbeskrivelse

Nedknust byggemateriale fra behandlingsanlægget I/S GENKNUS (fælleskommunalt anlæg v. Horsens, Hedensted og Vejle kommuner) indbygges i veldefinerede prøvestrækninger af en nyanlagt lettere belastet vej (kommunevej/boligvej). Til projektet anviste Vejle kommune en ca. 160 m lang boligvej i Skibet, vest for Vejle by.

Det nedknuste byggemateriale indbygges i vejen som erstatning for bundsikringslag og grusbærelag.

#### *Prøvestrækninger*

Materialerne er indbygget i forskellige kombinationer med normale vejbygningsmaterialer i 5 prøvestrækninger.

Som led i projektet er der gennemført materialeanalyser, udførelseskontrol, bæreevnekontrol og nivellements kontrol af overflader.

#### *2½ års observation*

Langtidskontrollen - nivellement af GAB-laget - er afsluttet i foråret 1993, hvorefter slidlag udlægges.

## 2.3 Projektorganisation

Projektet blev igangsat og styret af Axel Nielsen · Carl Bro as, Rådgivende Ingeniørfirma F.R.I, med ingeniør Jørgen Mikkelsen som projektleder for en arbejdsgruppe bestående af:

### *Arbejdsgruppe*

- Jørgen Lindberg, Vejle kommune (bygherre)
- Kurt Trøster, Marius Pedersen A/S (driver knuseanlægget)
- Jørgen Mikkelsen, Axel Nielsen · Carl Bro as

Den bevilgede støtte er administreret af Miljøstyrelsens kontor for genanvendelse og renere teknologi.

Projektet har været fulgt af en gruppe med repræsentanter fra Miljøstyrelsen, Vejdirektoratet (Statens Vejlaboratorium), I/S Genknus og Axel Nielsen · Carl Bro as. Følgegruppemedlemmerne var:

### *Følgegruppe*

- Lars Søborg, Miljøstyrelsen
- Knud A. Pihl, Vejdirektoratet (Statens Vejlaboratorium)
- Børge Smidt, I/S Genknus
- E. Bitsch Olsen, Axel Nielsen · Carl Bro as

## 2.4 Arbejdsrapport

Nærværende rapport beskriver projektaktiviteterne samt resultater og konklusioner heraf.

### *Bilagssamling*

Analyse- og måleresultater opbevares i en bilagssamling hos Axel Nielsen · Carl Bro as.

## 3 Projektaktiviteter

### 3.1 Knusning og sortering

#### *Knuseanlæg*

I Remmerslund ved Hedensted ligger behandlingsanlægget I/S Genknus, som modtager bygge- og anlægsaffald fra kommunerne: Horsens, Hedensted og Vejle.

Det tekniske anlæg ejes og drives af Marius Pedersen A/S.

I/S Genknus fører en prispolitik, der animerer leverandørerne til en effektiv, selektiv nedrivning. Endvidere styres affaldsstrømmene ved hjælp af de fastlagte regulativer i medlemskommunerne.

#### *Sortering*

Der kan afhængig af efterspørgsel sorteres efter:

- Overvejende beton
- Overvejende tegl
- Blandet genanvendeligt (tegl, beton, letbeton m.v)

Som indledning til knusning og sortering af genbrugsmaterialerne gennemføres en frasortering af organiske materialer (vedhængende jord, træ, plastik m.v.)

Herefter gennemføres en knusning ned til en max. kornstørrelse på 55 mm, og evt. en sortering i fraktioner  $>32$  mm og  $<32$  mm.

Til nærværende projekt er anvendt knust beton (overvejende beton) i standardfraktionerne: 0-32 mm og 32-55 mm.

Som supplement til vejforsøgene er der på en strækning lagt fortovsfliser i knust tegl (0-8 mm).

### 3.2 Materialespecifikationer

Ved vurdering af anvendelsesmuligheder og -områder for genbrugsmaterialer har vi taget udgangspunkt i Norm for sand-, grus- og stenmaterialer (DS 401, 2. udg. 1977).

#### *Materialeegenskaber*

Følgende egenskaber blev i denne sammenhæng betragtet som værende relevante at underkaste en vurdering/bedømmelse:

- komprimerbarhed
- bæreevne
- frostsikkerhed og renhed
- slidstyrke og stabilitet
- elasticitet
- tæthed
- holdbarhed

Da projektet blev igangsat, lod I/S Genknus etablere et lager med knust beton, hvorfra der indledningsvis blev udtaget 3 prøver til analysering hos Statens Vejlaboratorium.

Prøverne blev udtaget i usorteret tilstand (0-55 mm), idet de i projektet anvendte sorteringer efterfølgende kunne analyseres på grundlag af sigteanalyser i laboratoriet.

#### *Laboratorieanalyser*

I samråd med Statens Vejlaboratorium blev det besluttet at udføre følgende analyser:

- 3 stk. prøvebeskrivelser
- 3 stk. sigteanalyser
- 3 stk. sandekvivalent-bestemmelser
- 6 stk. kalkindholdsbestemmelser
- 3 stk. glødetabsbestemmelser
- 3 stk. humusindholdsbestemmelser
- 6 stk. densitet og absorptionsbestemmelser
- 1 stk. Los Angeles slidforsøg

Senere blev der udtaget en prøve af leveret materiale, 0-32 mm. Med denne prøve blev der udført sigteanalyse og vibrationsindstampning, til brug ved komprimeringskontrol.

Under arbejdets udførelse er der løbende udtaget prøver af de leverede og indbyggede materialer. Med en del af disse prøver er der udført materialeanalyser.

Materialeanalyser er udført i h.t. DS 405 - Prøvningsmetoder for sand-grus- og stenmaterialer.

### 3.3 Indbygning

#### 3.3.1 Valg af prøvestrækninger

Medio 1990 anviste Vejle Kommune en brugbar vejstrækning til forsøget.

#### Vejstrækningen

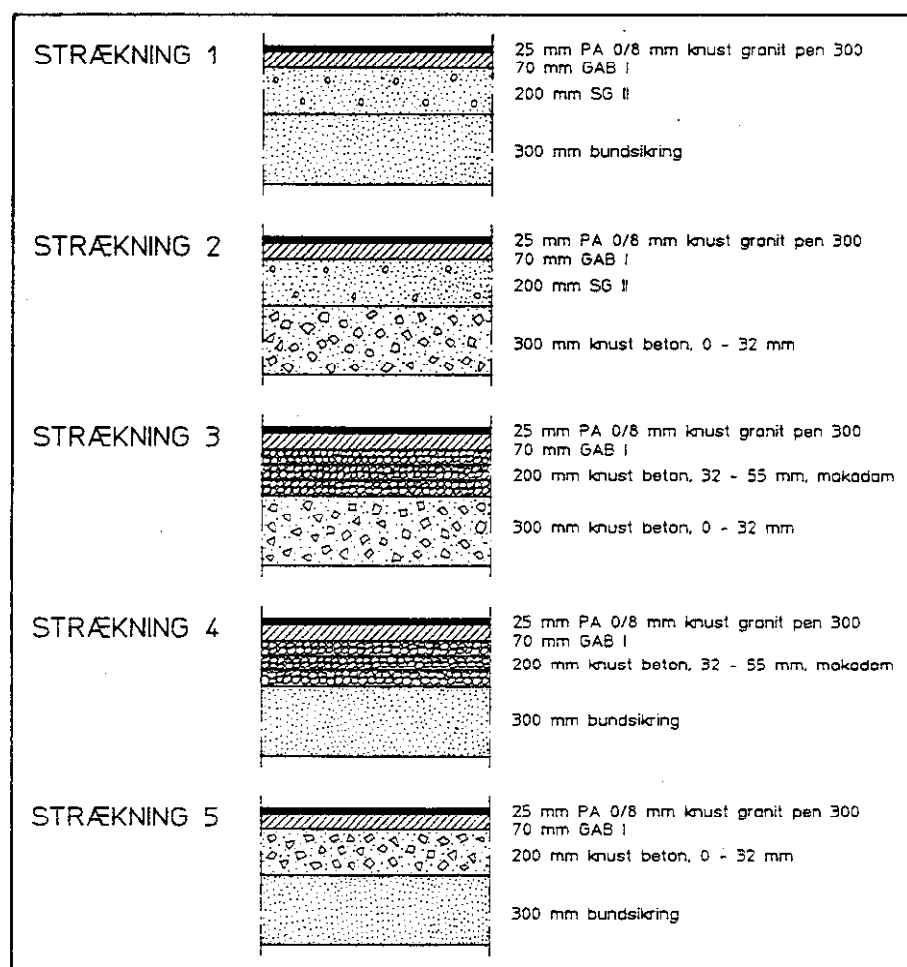
Vejstrækningen er en ca. 160 m lang boligvej, beliggende i et meget skrånende terræn i Skibet, vest for Vejle. Vejstrækningen er noget kortere, end ønsket, og vejens længdefald (op til 150 ‰) er usædvanligt stort.

Vejen blev opdelt i 5 delstrækninger á ca. 30 m (se figur 3.1):

- Strækning 1 - referencestrækning - er opbygget med:

25 mm PA  
70 mm GAB I  
200 mm SG II  
300 mm BG

- Strækning 2 og 3: BG erstattes med knust beton, 0-32 mm.
- Strækning 3 og 4: SG erstattes med knust beton, 32-55 mm
- Strækning 5: SG erstattes med knust beton, 0-32 mm.



Figur 3.1  
Prøvestrækninger

#### *Normal udbud*

### **3.3.2 Udbudsbetingelser**

Vejle Kommune udarbejdede til licitation et normalt udbudsprojekt, idet der i projektet blev angivet, at der skulle anvendes genbrugsmaterialer i delstrækninger.

Axel Nielsen as udarbejdede et *Tillæg til SÆRLIG ARBEJDSBESKRIVELSE* for udførelse af bundsikring og grusbærelag med knust beton.

Licitationen blev afholdt den 3. august 1990 - og blev vundet af entreprenørfirmaet H. R. Aagaard A/S, Vejle.

### **3.3.3 Udførelse**

Arbejdet er udført i perioden august - oktober 1990.

Materialerne blev aflæsset på den nederste del af vejstrækningen (ved Vardevej), og blev herfra transporteret og udlagt med gummiged.

#### *Bundsikring - tørt materiale*

Den 17. og 18. september var der tørvejr, og selv om den knuste beton virkede meget tør, blev det - for forsøgets skyld - besluttet at udlægge materialet (som bundsikring) uden at tilsætte vand. Under udlægningen virkede materialet ganske kørestabilt.

#### *Overfladeknusning*

Ved en umiddelbar visuel vurdering af materialet (0-32 mm knust beton) syntes der at være nogen variation i kornstørrelsesfordelingen. Endvidere kunne det konstateres, at der - ved komprimering med vibration - forekom en let knusning af betonstykkerne i lagets overflade.

Den 19. september 1990 var der let regn om formiddagen.

Inden middag var bundsikringslaget færdigudlagt, og overfladeafretning samt komprimering var påbegyndt ovenfra (v. st. 160).

Ved middagstid blev der silende regnvejr, og det varede ved i en times tid.

#### *Bundsikring - våd*

En times tid efter at regnvejret var ophørt, blev arbejdet genoptaget - med gode resultater på betonstrækningen, og mindre gode resultater på bundsikringssandet.

#### *Knust betons gode drænegenskaber*

Den megen regn havde bevirket, at bundsikringssandet var blevet overmættet (opblødt) og vanskelig at færdigregulere, hvorimod den knuste beton havde gode drænegenskaber, så den kunne "klare" regnen.

Det regnede jævnlige i perioden, hvor der blev udlagt bærelag.

#### *Bærelag*

Udlægning af 0-32 mm beton forløb uden problemer, idet regnbygerne havde en gavnlige virkning på materialet.

Beton-makadam-lagene blev udlagt som en normal singelsmakadam, idet grusning af lagene blev udført med normalt dækgrus i h. t. DS 401.

|                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Urenheder</i>                        | <p>I den første del af makadam-belægningen var der iøjnefaldende mange rester af plastik og træ, som entreprenøren samlede fra. Over for I/S Genknus blev det bemærket, at vi ønskede "renere" materialer, hvilket blev taget til efterretning.</p> <p>Makadam-udlægning forløb uden problemer - også den 24. september 1990, hvor det regnede så meget, at sandskråninger vest for vejen (v. st. 30-60) blev eroderet og delvist skred ud på vejen.</p> |
| <i>Problemer med vådt, stabilt grus</i> | <p>Afretning og færdigkomprimering af stabilgrusoverfladen på strækning 1 og 2 måtte udsættes et par dage, som følge af for megen nedbør.</p> <p>Den 1. oktober 1990 blev asfaltbærelaget (GAB I) udlagt i 4,5 m' bredde af Phønix A/S.</p> <p>Kantsten og overkørsler (brosten) blev færdiggjort i slutningen af oktober, hvorefter afsluttende asfaltarbejde (langs kantsten) blev udført.</p>                                                         |
| <i>Knust tegl - fortov</i>              | <p>24. - 26. oktober 1990 blev der udlagt knust tegl (0-8 mm), som underlag for fortovsfliser på strækning 1 (st. 15-40).</p> <p>I ugen 5. - 9. november 1990 blev entreprenørarbejdet afsluttet med færdiggørelse af muldrabatter m.v.</p>                                                                                                                                                                                                              |
|                                         | <p><b>3.3.4 Kontrol under udførelse</b></p> <p>I forbindelse med entreprenørarbejdets udførelse er der ført kontrol med:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• udførelsesmetoder</li> <li>• materialer</li> <li>• lagtykkelser</li> <li>• komprimering.</li> </ul>                                                                                                                                                                                |
| <i>Traditionel udlægning</i>            | <p>I projektbeskrivelsen er der lagt op til, at der så vidt muligt bruges traditionelle metoder og traditionelt materiel, hvilket også viste sig muligt.</p> <p>Med en del udtagne materialeprøver er der udført materialeanalyser bl. a. for at bestemme:</p>                                                                                                                                                                                           |
| <i>Laboratorieforsøg</i>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• materialesammensætning</li> <li>• renhed</li> <li>• kornstørrelsesfordeling</li> <li>• lejringssegenskaber (tæthedsbestemmelser).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <i>Nivellement</i>                      | <p>Efter færdigregulering af hvert lag, er der udført nivellement af lagets overflade, således at hvert lags tykkelse er registreret ved ca. én måling pr. 5 m<sup>2</sup> overflade.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <i>Komprimeringskontrol</i>             | <p>I forbindelse med komprimeringsarbejdets udførelse er der i alle lag udført komprimeringskontrol med isotopsonde, således at hvert lags komprimering er kontrolleret for hver ca. 25 m<sup>2</sup>.</p>                                                                                                                                                                                                                                               |

### 3.4 Efterkontrol

#### 3.4.1 Bæreevneeftervisning

##### *Faldlodsmålinger*

Med det formål at kunne sammenligne de enkelte forsøgsefters bæreevne og - om muligt - at få beregnet E-modulerne i de enkelte lag, er der udført faldlodsmålinger i 15 udvalgte punkter.

Som følge af de detaljerede indmålinger af alle lag i vejopbygningen, kunne de enkelte lags tykkelser ved målepunkterne bestemmes med stor nøjagtighed.

Faldlodsmålinger blev udført én dag efter GAB-udlægning af Phønix. Da målingerne vanskeligt lod sig tolke/beregne, blev det vedtaget at gentage målingerne i foråret 1991, hvilket blev udført den 24. juni 1991. Forinden havde Phønix den 7. maj 1991 udført et antal supplerende målinger i tilfældige målepunkter på vejen.

##### *E-moduler og levetid*

De nye målinger gav også nogle atypiske resultater, hvormed der ikke kunne gennemføres en normal edb-beregning af E-moduler og levetidsvurderinger.

Der er dog forsøgt at drage nogle forsigtige konklusioner af resultaterne, som angivet under pkt. 4.3 (Resultater og konklusioner).

#### 3.4.2 Trafiktælling

##### *Byggepladstrafik*

Fra vejens færdiggørelse i oktober 1990 til juni 1991 har vejen været benyttet til byggepladstrafik i forbindelse med opførelse af 12 andelsboliger for enden af forsøgsvejen.

Vejle Kommune har - efter færdiggørelse af vejen - udført trafiktællinger.

Idet måleudstyret periodevis har været ude af funktion, foreligger der ikke en fuldstændig opgørelse af trafikken på forsøgsvejen.

##### *Let trafik*

Siden vejens færdiggørelse har døgntrafikken - ved måling i begge retninger - været på ca. 70 personbiler og nogle få lastbiler, hvilket er mindre end 1 ækvivalent 0,1 MN-aksel (10 tons aksel).

#### 3.4.3 Kontrolnivelement

##### *Kontrol i 2½ år*

Siden entreprenørarbejdets afslutning er der ni gange udført nivelement af GAB-overfladen:

Nivelementerne er udført med totalstation, idet der i hver 5 m st. er indmålt 5 punkter.

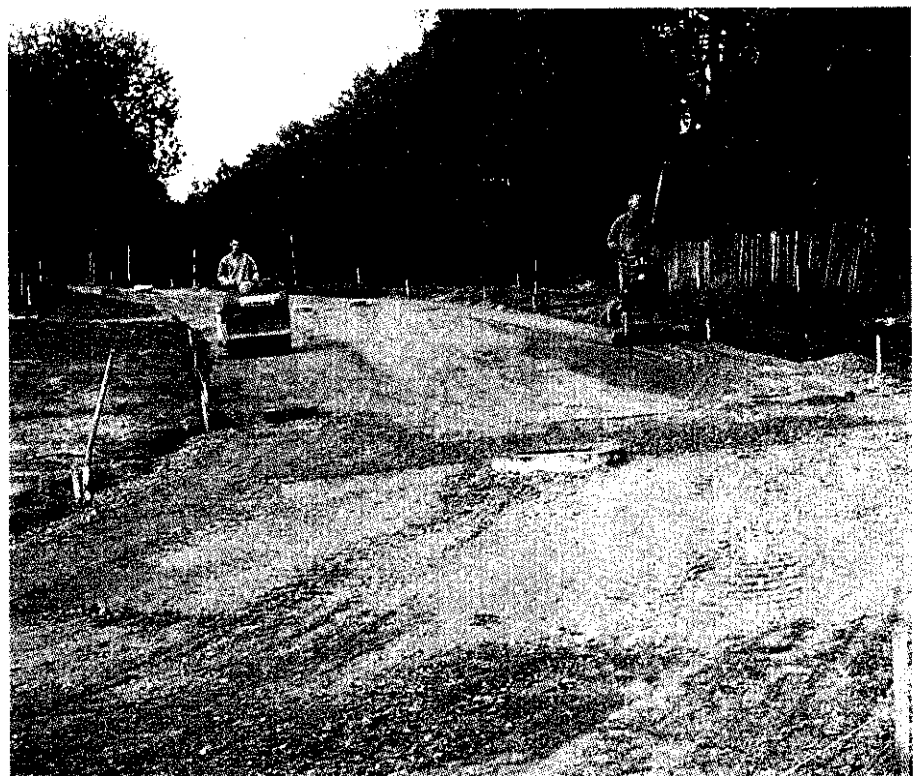
##### *Fortovsnivelement*

Ud over nivelement af asfaltoverfladen er der 7 gange udført nivelement af fortovsoverfladen for at registrere eventuelle afvigelser mellem den del af fortovet, der er udført på knust tegl - og den del, der er udført på normalt grusunderlag.

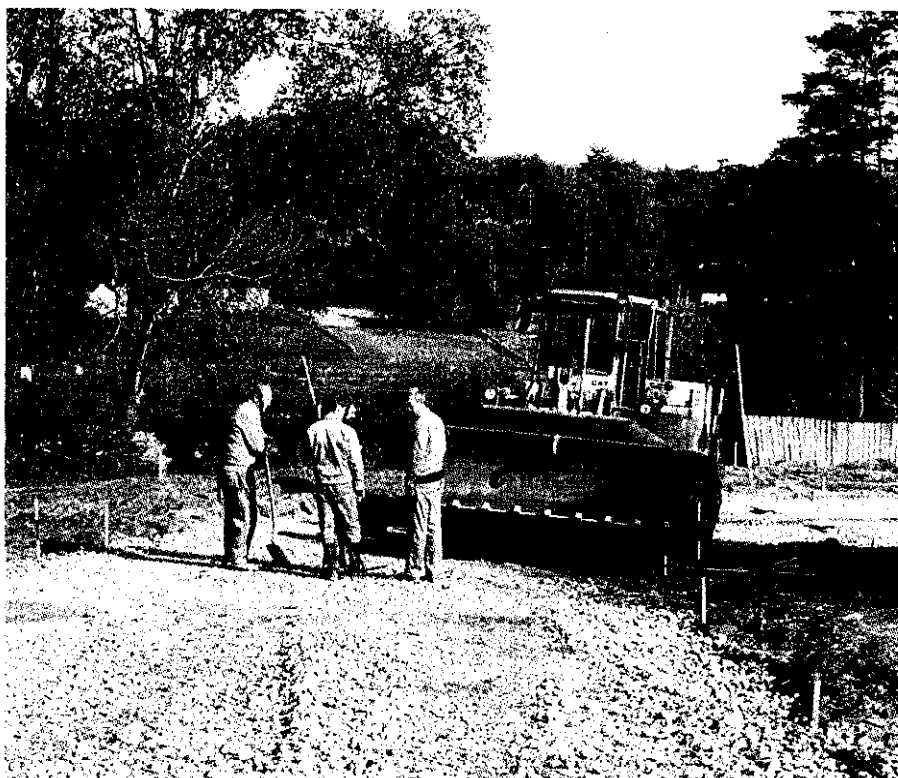
Konklusioner er angivet under pkt. 4.3.



**Foto 1**  
Aflæsning af knust beton på byggepladsen



**Foto 2**  
Komprimering af knust beton



**Foto 3**  
*Udlægning af beton-makadam*



**Foto 4**  
*Komprimeret beton-makadam*



**Foto 5**  
*Udlægning af knust tegl som underlag for fortovsfliser*



**Foto 6**  
*Komprimering af knust tegl*



*Foto.7*  
*Måling/nivellement af overflade - med totalstation*



*Foto 8:*  
*Asfaltbærelag er udlagt*

## 4 Resultater og konklusioner

### 4.1 Materialeanalyser

De udførte forundersøgelser viste, at den knuste beton har gode materialegenskaber, - sammenlignet med sand-, grus- og stenmaterialer.

#### *Materialeparametre*

På grundlag af de udførte analyser kan her anføres nogle omtrentlige materialeparametre for den knuste beton:

|                 |                             |                            |
|-----------------|-----------------------------|----------------------------|
| • Korndensitet: | • tilsyneladende densitet   | ca. 26 kN/m <sup>3</sup> . |
|                 | • tør tilstand              | ca. 22 kN/m <sup>3</sup> . |
|                 | • vandmættet, overfladetør  | ca. 23 kN/m <sup>3</sup> . |
| • Absorption:   | • materialer < 4 mm         | ca. 7,5 %.                 |
|                 | • materialer 4 - 31,5 mm    | ca. 6,0 %.                 |
| • Kalkindhold:  |                             | ca. 17 %.                  |
| • Glødetab:     | • ureduceret                | ca. 8 %.                   |
|                 | • reduceret for kalkindhold | ca. 0 %.                   |
| • Stabilitet:   | • LA-test, grad B           | ca. 39.                    |

#### *Kornfordeling*

Sigteanalyserne viste, at kornstørrelsesfordelingen for materialet 0-32 mm næsten opfyldte kravene til stabilt grus, kvalitet II, i h.t. DS 401. Indhold < 2 mm udgjorde ca. 35 %, og indhold > 8 mm udgjorde ca. 23 %.

Efterfølgende sigteanalyser af leveret og udlagt materiale viste en tilsyneladende større knusningsgrad end forprøverne, idet indhold < 2 mm udgjorde ca. 50 %, og indhold > 8 mm udgjorde ca. 19 %.

Forskellen mellem resultaterne af forprøvningerne og de efterfølgende analyser kan skyldes, at materialerne ikke er identiske, og desuden kan der være sket en vis knusning under bearbejdningen (komprimering m.v.).

#### *"Hærdning af knust beton"*

Ved senere undersøgelser kan der iagttages en vis hærdning i de opbevarede prøver af den knuste beton, hvilket indikerer, at der ved knusningen er frilagt uhydratiseret cement, som har reageret med vand.

#### *Kapillarsugning*

Der kan endvidere observeres en væsentlig kapillarsugning i den knuste beton, hvilket indebærer, at man ikke skal tilskrive knust beton kapillarbrydende egenskaber.

#### *"Urenheder"*

Der kunne ikke registreres et nævneværdigt indhold af fremmede materialer (træ, plastik m.v.) i den knuste beton < 32 mm.

Med prøver af den knuste beton - 32-55 mm - udførtes sorteringer i laboratoriet, der gav følgende omtrentlige fordeling - i vægtprocent:

|                   |           |
|-------------------|-----------|
| • Beton           | ca. 85 %. |
| • Sten og asfalt  | ca. 10 %. |
| • Tegl            | ca. 2 %.  |
| • Letklinker m.v. | ca. 2 %.  |
| • Træ og plastik  | ca. 1 %.  |

#### *Knust tegl*

Sigteanalyser udført med prøver af den anvendte knuste tegl - under for-  
tovsfliserne - viste en velgraderet kornkurve med max. kornstørrelse =  
ca. 8 mm, og med ca. 10% indhold < 0,075 mm

#### *SG II - kornfordeling*

På strækning 1 og 2 er der anvendt stabilt grus som bærelag. Sigteanaly-  
ser af dette grusmateriale viste, at kravene til kornfordeling for SG II - i  
h.t. DS 401 - ikke overalt var opfyldt. Indholdet i fraktionen 0,25-1 mm  
var generelt for højt.

## **4.2 Indbygningsegenskaber**

#### *Knust beton 0-32 mm*

Den knuste beton (0-32 mm) var lige så nem at udlægge og kompri-  
mere som traditionelt stabilt grus. Og der kunne anvendes traditionelle ud-  
lægnings- og komprimeringsmetoder.

Vandindholdet i den knuste beton var dog ikke helt ideelt ved levering,  
idet det naturlige vandindhold (7-8 %) var væsentligt under det - i labora-  
toriet fundne - optimale vandindhold på ca. 13,5 %.

Ved nærværende forsøg gav nedbør i udlægningsperioden ideelle udlæg-  
ningsbetingelser for den knuste beton, idet nedbøren dels hindrede støv-  
problemer under udlægning og dels tilførte materialet et nødvendigt  
vandtilskud for at kunne opnå en optimal komprimeringseffekt.

#### *Vandtilsætning nødvendig*

Under normale forhold må det dog påregnes, at der skal tilsættes vand til  
den knuste beton - enten direkte efter knusning eller i forbindelse med  
udlægningen.

Bundsikring og grusbærelag kan normalt ikke tåle nedbør i større mæng-  
der inden komprimering, idet dette vil give anledning til overmætning/op-  
blødning og dermed umuliggøre komprimeringsarbejdet, indtil dræning og  
fordampning har reduceret vandindholdet i gruset.

#### *Gode drænegenskaber*

Den knuste beton viste sig at have så gode drænegenskaber, at nedbør -  
selv i større mængder - havde en positiv indflydelse på kompri-  
meringsegenskaberne.

#### *Betonmakadam 32-55 mm*

Betonmakadam (32-55 mm) var lige så nem at udlægge som skærve-  
/singelsmakadam, og overfladen var særdeles stabil at køre på efter  
udlægning, vanding og grusning.

#### *Knust tegl*

Knust tegl som underlag for fortovsfliser havde gode indbygningsegenska-  
ber, og kan håndteringsmæssigt sammenlignes med traditionelt lægnings-  
grus.

### 4.3 Bæreevne/levetid

De udførte faldlodsmålinger er vanskelige at tolke helt entydigt, hvilket blandt andet kan skyldes, at bærelagenes stivhed ikke overalt - som normalt - har aftagende værdier nedad.

#### *Faldlodsmålinger tolkning*

E-modulerne i de enkelte lag kunne ikke entydigt bestemmes ved edb-beregninger. Derfor er der udført nogle manuelle betragtninger, når edb-modellens iterationsprocedure er gået over det øvre loft i beregningsforudsætningerne.

Ved traditionelle materialer kan der normalt forventes følgende E-værdier:

#### *E-moduler traditionelle materialer*

- |                       |              |
|-----------------------|--------------|
| • Bundsikringssand    | ca. 150 Mpa  |
| • Stabilt grus (SGII) | 200-300 Mpa  |
| • Stabilt grus (SGI)  | ca. 300 Mpa  |
| • Singelsmakadam      | ca. 600 Mpa  |
| • Skærvemakadam       | ca. 1000 Mpa |

På grundlag af målingerne og de efterfølgende analyser kan der for de anvendte materialer angives følgende omtrentlige E-værdier:

#### *E-moduler forsøgsmaterialer*

- |                          |             |
|--------------------------|-------------|
| • Råjordsplanum (sand)   | 150-300 MPa |
| • Bundsikringssand       | 150-200 Mpa |
| • Stabilt grus           | ca. 200 Mpa |
| • Knust beton, 0-32 mm   | ca. 300 Mpa |
| • Betonmakadam, 32-55 mm | ca. 400 Mpa |

*Knust beton er bedre end grus* Heraf kan konkluderes, at den knuste beton (0-32 mm) har et elasticitetsmodul i nogenlunde samme størrelsesorden som stabilt grus, og at betonmakadam (32-55 mm) har et elasticitetsmodul, der er større end stabilt grus, men mindre end singelsmakadam.

På grundlag af faldlodsmålingerne er der udført levetidsberegninger, idet der er forudsat en middeldøgntrafik på 1 stk. 0,1 MN-aksler (svarende til 2-4 lastbiler). Med en dimensioneringsperiode på 10 år og en årlig trafikstigning på 3 % giver det en trafikbelastning på ca. 4200 ækvivalente 0,1 MN-aksler i dimensioneringsperioden.

#### *Levetidsanalyse*

Levetidsberegningerne viser, dels at vejen har en forventet levetid på mere end 20 år, og dels at levetiden må forventes at være mindst på referencestrækningen med standardopbygningen.

#### *Kontrolnivelement*

Ved de udførte kontrolnivelementer efter vejens færdiggørelse er der kun konstateret små bevægelser, uden éntydige forskelle mellem de enkelte prøvestrækninger.

De registrerede bevægelser vurderes være normale, og skønnes ikke at have nogen negativ indvirkning på vejens levetid.

På grundlag af de udførte kontrolnivelementer kan der angives nogle tilsyneladende bevægelsestendenser:

#### *Små bevægelser*

- I de første 1½-2 år efter færdiggørelsen af vejen er der registreret små - årstidsafhængige - bevægelser på få mm i op- og nedadgående retning. Lokalt ved st. 150-160 registreres dog en generel sætningstendens på ca. 10 mm.

#### *5-7 mm sætning*

- Ved det afsluttende nivelement - den 29.03.92 - kan det konstateres, at vejen generelt - efter 2½ år - har fået blivende sætninger på 4-6 mm. Lokalt ved st. 15-20 er der dog ikke registreret sætninger, og ved st. 140-160 er der registreret sætninger på 10-18 mm.

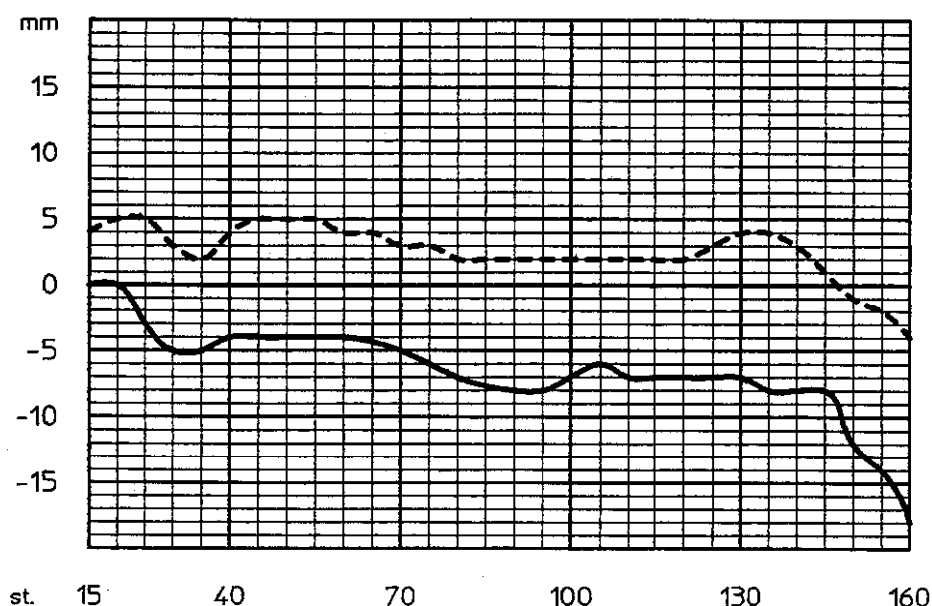
Sætningerne på den øvre del af vejen kan til dels skyldes, at strækningen ikke har været udsat for nogen nævneværdig byggepladstrafik i forbindelse med vejens opbygning.

På diagrammet herunder (fig. 4.1) er bevægelserne for vejstrækningen i måleperioden angivet ved et interval - idet

- 0-linien svarer til det første nivelement,
- den øverste linie angiver maximal registreret hævnings,
- nederste linie angiver maximal registreret sætning.

#### *Måleusikkerheder*

Ved tolkning af måleresultaterne må man have i erindring, at vejstrækningen afviger en del fra en standardvej med hensyn til tracé og længdeprofil, og at nivelementsresultaterne må forventes at være behæftet med måleusikkerheder på ca.  $\pm 2$  mm.



**Fig. 4.1**  
*Asfalterfladens bevægelser*

*Fortov på knust tegl*

Nivellementet af fortovsfliserne viser lidt større bevægelser end vejen. De konstaterede bevægelser er hovedsageligt sætninger, på 10-20 mm.

*Som normalt grus*

Der er ikke nogen afgørende forskel i bevægelserne på strækningen med knust tegl og strækningen med almindeligt lægningsgrus.

*Frosthævninger  
kan forekomme*

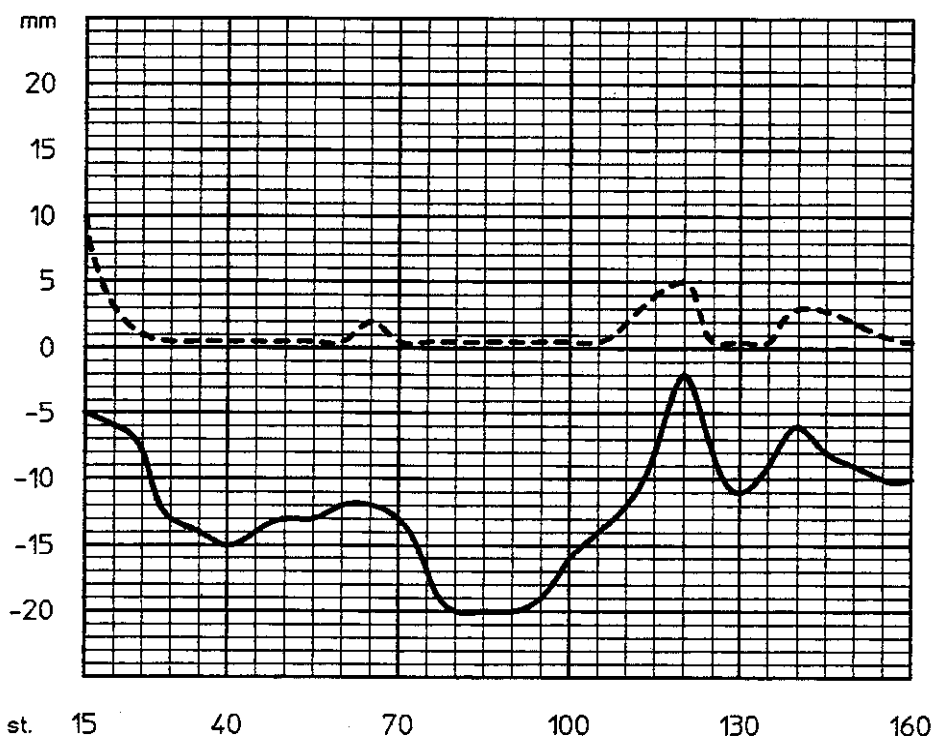
Selv om der på den undersøgte fortovsstrækning ikke ses tydelige tendenser til frosthævninger i vinterperioder, må det forventes, at den knuste tegls vandopsugningsevne vil give anledning til frosthævninger, hvis teglen er våd i vinterperioder.

På diagrammet herunder (fig. 4.2) er bevægelserne for fortovsstrækningen i måleperioden angivet ved et interval - idet

- 0-linien svarer til det første fortovs-nivellement,
- den øverste linie angiver maximal registreret hævnings,
- nederste linie angiver maximal registreret sætning.

*Måleusikkerheder*

Ved tolkning af måleresultaterne må man - som angivet for vej-nivellementet - have den specielle tracé og længdeprofil samt måleunøjagtigheder i erindring.



**Fig. 4.2**  
*Fortovets bevægelser*

#### 4.4 Tekniske og økonomiske erfaringer

##### *Teknisk fordel*

På baggrund af resultaterne vurderes knust beton at være et teknisk set fornuftigt og velegnet alternativ til normale grusbærelag i vejbygning.

Materialeegenskaberne synes fuldt ud at kunne opfylde fornuftige krav, også selv om der ikke iværksættes en nøje sorterings-/behandlingsprocedure på knuseanlægget, hvilket var forudsætningen ved nærværende forsøg.

Forudsætningen for et fornuftigt resultat er, at materialerne er sorterede, hvilket lettest gennemføres ved en selektiv nedrivning, inden knusning udføres.

##### *Knust beton = stabilt grus*

Materialernes kvalitet er afhængig af grundmaterialernes egenskaber, men på baggrund af nærværende forsøg kan normale betonkonstruktioner efter nedrivning og knusning formentlig uden videre gives styrke-/stivhedsegenskaber som stabilt grus.

##### *Knust tegl = flisegrus*

Knust tegl kan anbefales anvendt som flisegrus på gang- og stiarealer, hvorimod det - blandt andet på grund af risiko for frosthævninger - ikke umiddelbart kan anbefales at udlægge knust tegl som bærelag i betydende, trafikbelastede veje.

##### *Omkostninger*

Ved genanvendelse af bygge- og anlægsaffald er der omkostninger til:

- Selektiv nedrivning
- Knusning/behandling/sortering
- Kvalitetssikring/certificering
- Transport

##### *Afgifter*

men med de nugældende affalds- og deponeringsafgifter (i 1993) på:

- |                     |   |              |
|---------------------|---|--------------|
| • Affaldsafgift     | = | 195 kr/t     |
| • Deponeringsafgift | = | 125-250 kr/t |

##### *Markedsøkonomisk fordel*

er der en markedsøkonomisk fordel i at genanvende bygge- og anlægsaffald som erstatning for normale grusgravsmaterialer.

## 4.5 Fremtidsvurderinger

### *Forudsætninger for anvendelse af nedknust byggeaffald*

For at sikre en fornuftig genanvendelse af nedknust byggeaffald skal en række forudsætninger være opfyldt, og i den forbindelse påvirkes beslutningerne af følgende forhold:

- sædvane - bygherre, rådgiver og entreprenør
- markedsøkonomiske betragtninger - afgiftssystemer
- miljøbevidsthed
- lovgivning
- brugerens krav - teknisk og økonomisk attraktivt
- kvalitetssikring - certificering af materialer

Med baggrund i erfaringerne fra nærværende forsøg tyder alt på, at det både er teknisk og økonomisk attraktivt at genanvende knust beton til bærelag i vejbygning.

### *Krav til kornfordeling*

Selv om det ikke nødvendigvis vil give en optimal løsning at stille de samme materialekrav til knust beton, som stilles til sand-, grus- og stenmaterialer, kan skærpede krav til bl. a. kornfordeling måske give materialerne bedre egenskaber end stabilt grus.

Det kan derfor være relevant at gennemføre supplerende analyser og målinger på vejstrækninger, hvor bærelaget består af knust beton med skærpede krav til kornfordeling.

### *Certificering*

Uanset hvilke kravsspecifikationer, der vil optræde i fremtidige normer, vejledninger og beskrivelser, er det vigtigt, at materialerne kan certificeres. Derfor vil en effektiv kvalitetssikring på behandlingsanlæggene være både nødvendig og fornuftig, idet materialerne derved kan genanvendes optimalt.

## 5 Litteraturliste

Norm for sand-, grus- og stenmaterialer  
DS 401 - 2. udg. - 1977  
Dansk Ingeniørforening

Prøvningsmetoder for sand-, grus- og stenmaterialer  
DS 405 - 1. udg. - 1978  
Dansk Standardiseringsråd

Vejbygning  
Materialer, befæstelser, belægninger - 2. udg. 1975 og 3. udg. 1992  
A/S Phønix Contractors

Demonstrationsprojekt "Selektiv nedrivning"  
Miljørapport nr. 177 - 1991  
Miljøstyrelsen

Byggeri og renere teknologi  
Arbejdsrapport nr. 23 - 1993  
Miljøstyrelsen

Praktisk komprimeringskontrol med Isotopudstyr  
Notat nr. 168 - 1986  
Vejdirektoratet, Statens Vejlaboratorium

Vand i Veje. Afstrømning fra veje og dens betydning for vandindholdet i  
de ubundne bærelag  
Notat nr. 189 - 1986  
Vejdirektoratet, Statens Vejlaboratorium

Vand i Veje II  
Notat nr. 206 - 1988  
Vejdirektoratet, Statens Vejlaboratorium

Genbrug af betonbelægninger  
Laborativerapport nr. 63 - 1984  
Vejdirektoratet, Statens Vejlaboratorium

Alternative materialer i vejbefæstelser i Danmark, statusrapport  
Notat nr. 235 - 1992  
Vejdirektoratet, Statens Vejlaboratorium

Pris kr. 50,- (inkl. 25% moms)

ISSN 0908-9195  
ISBN 87-7810-255-3

Miljø- og Energiministeriet **Miljøstyrelsen**  
Strandgade 29 · 1401 København K · Telefon 32 66 01 00