

Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen

Nr. 41 1993

Anvendelse af knust tegl og
beton som fyld i ledningsgrave

628.4.036

: 628.477.2

B 32

ex. 2

7575

**Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen
Nr. 41 1993**

**Anvendelse af nedknust tegl og
beton som fyld i ledningsgrave**

**Dokumentation af tekniske egenskaber i
forhold til ledninger og vurdering af
afsætningsmæssige muligheder**

**Jan Falkenberg og Inge Faldager
Dansk Teknologisk Institut. Byggeteknisk Institut**

MILJØSTYRELSEN
BIBLIOTEKET
Strandgade 29
1401 København K

Miljøministeriet Miljøstyrelsen

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.

INDHOLDSFORTEGNELSE

	<u>Forord</u>	5
<u>1.</u>	<u>Resume</u>	7
	English Summary	9
<u>2.</u>	<u>Sammenfatning</u>	11
2.1	Formål og baggrund	11
2.2	Resultater fra laboratorieforsøg	12
2.3	Resultater fra fuldskalaforsøg	15
2.4	Mængder for anvendelse af knust materiale i ledningsgrave	19
2.5	Materiel	19
<u>3.</u>	<u>Normkrav til fyldmaterialer i ledningsgrave</u>	21
3.1	Indledning	21
3.2	Ledningsgraves principielle opbygning	20
3.2.1	Grundforstærkning	22
3.2.2	Udjævningslaget	22
3.2.3	Omkringfyldning	23
3.2.4	Tilfyldning	24
<u>4.</u>	<u>Mængdemæssige beregninger for anvendelse af fyld i ledningsgrave</u>	25
4.1	Prognoser for ledningsanlæg	25
4.2	Andre forudsætninger for beregningen	25
4.3	Anvendt mængde i en rørgrav	26
4.4	Beregninger af fyldmængder	27
4.5	Mængdeberegning for materiale til udjævning og omkringfyldning	28
4.6	Beregning af mængder	29

<u>5.</u>	<u>Praktisk gennemførelse</u>	31
5.1	Laboratorieundersøgelser	31
5.1.1	Formålet med undersøgelserne	31
5.1.2	Udførte forsøg	31
5.1.3	Vurderinger	31
5.2	Etablering af prøvefelt	31
5.2.1	Prøvefeltets opbygning	32
5.2.2	Arbejdets udførelse	33
5.3	Kontrol af prøvefelt	36
5.3.1	TV inspektion af kloakledninger	36
5.3.2	Faldmålinger på ledninger	38
5.3.3	Fremtidige undersøgelser	39
<u>6.</u>	<u>Litteraturliste</u>	41

Indhold i bilagsrapport:

- Bilag 1: Prøvningsrapporter for rende 1-4.
Laboratorie- og markmålinger.
- Bilag 2: Prøvningsrapporter for rende 1-4.
Observation ved TV inspektion samt
resultater af faldmålinger, juli 1991.
- Bilag 3: Prøvningsrapporter for rende 1-4.
Observation ved TV inspektion,
faldmålinger samt tolkning,
januar 1993.

Bilagsrapporten kan købes hos Byggeteknisk Institut/DTI.

FORORD

De potentielle mængder af byggeaffald, der hvert år produceres, udgør omkring 4.5 mill. ton. En stor del af dette udgøres af tegl og beton.

Formålet med dette projekt er at undersøge, om det set ud fra ledningstekniske synspunkter er muligt at bruge nedknust tegl og beton som fyld i ledningsgrave, samt vurdere de afsætningsmæssige muligheder.

Det praktiske arbejde med sammenskrivningen af rapporten er foretaget af Jan Folkenberg, Byggeteknisk Institut, Dansk Teknologisk Institut.

Flemming Berg fra Statens Vejlaboratorium har gennemlæst og kommenteret rapporten.

Arbejdet med rapporten har været fulgt af en styringsgruppe bestående af:

Jette Skaarup
Miljøstyrelsen

Preben Andersen
Farum Sten- & Gruskompagni a/s

Svend Borgselius
Svend Borgselius A/S (indtil juli 1992)

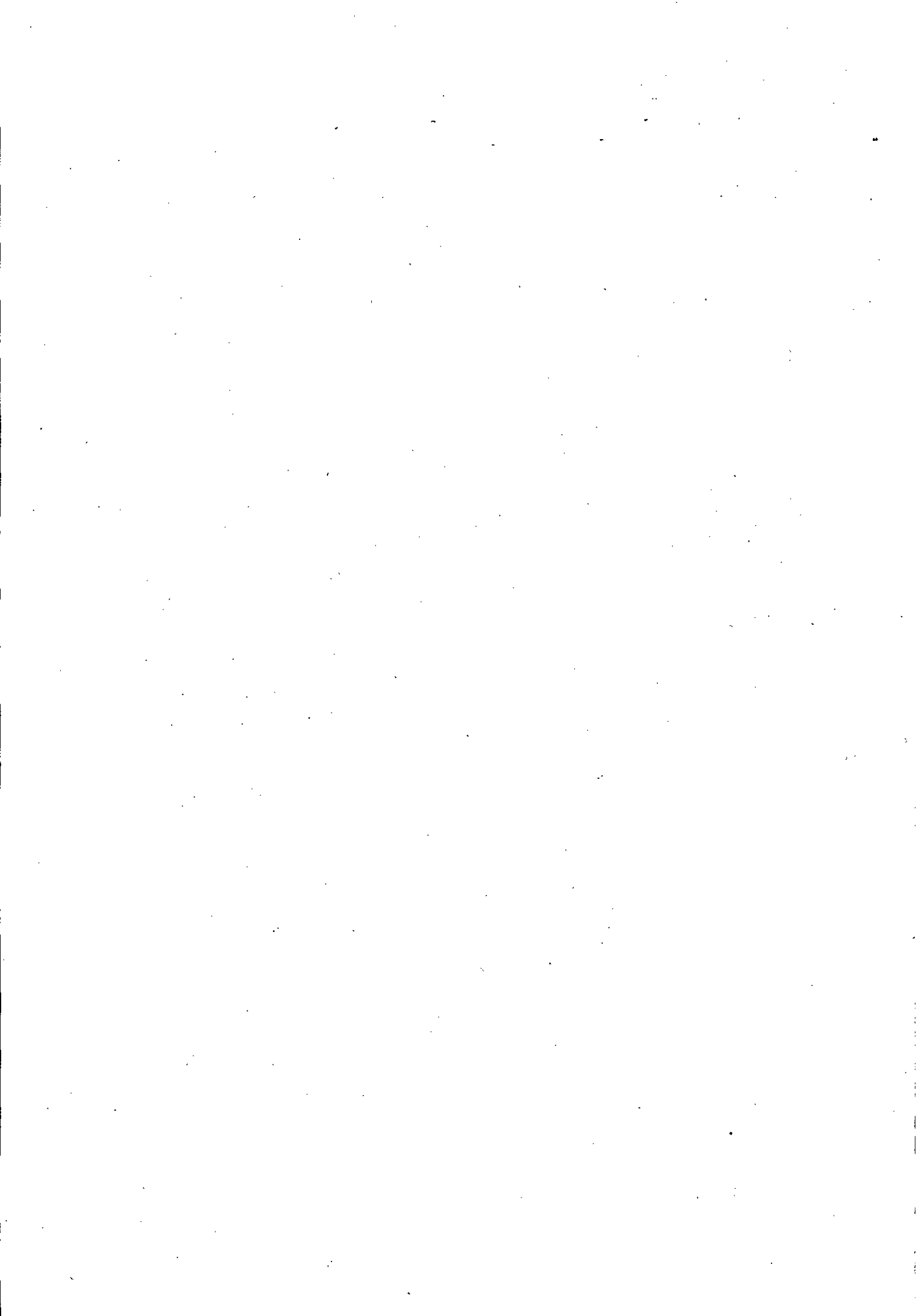
Inge Faldager, Rørcentret
Byggeteknisk Institut
Dansk Teknologisk Institut

Jan Folkenberg, Byggeteknisk Institut
Dansk Teknologisk Institut (Projektleder)

Arbejdet er blevet finansieret af Rådet vedr. genanvendelse og mindre forurenende teknologi efter indstilling fra Koordineringsgruppen vedr. Genanvendelse af Byggeaffald.

Dansk Teknologisk Institut
Byggeteknisk Institut

Juni 1993



1. Resumé

Med udgangspunkt i et detaljeret laboratoriearbejde samt et konkret fuldskala ledningsarbejde er det undersøgt, om det er muligt at anvende knust tegl og beton i 0-4 mm fraktionen som fyld i ledningsgrave.

Laboratorieundersøgelserne indeholder: Kornstørrelsesfordeling ved sigtning, sandækvivalentbestemmelse, kapillaritetsbestemmelse samt standard proctorforsøg.

Markmålingerne indeholder: Våd og tør densitetsbestemmelse med isotopsonde på det knuste tegl- og betonmateriale samt TV inspektion, faldmålinger og måling med tolk på de lagte ledninger.

Markkontrollen har tilvejebragt viden om indbygningsbetingelser for materialerne i ledningsgravene.

Resultaterne af undersøgelserne viser, at de knuste materialer kan bruges til udjævnings- og omkringfyldningsmateriale i ledningsgrave. Resultaterne er dokumenteret gennem ovennævnte undersøgelser over en periode på 2 år, hvor der er udført TV inspektion, faldmålinger og måling af plastledningernes deformation med tolk på ledningerne i prøvefeltet.

Selv om komprimeringen af de anvendte materialer i ledningsgravene ikke alle steder overholder minimumskravene i forbindelse med anlægelse af veje, er der ikke konstateret skader/deformationer på ledningerne, selv om sætningerne på ledningerne er i størrelsesordenen 2-5 mm.

Kapillaritetsbestemmelse på de knuste materialer viser relativt store stighøjder. De kapillare stighøjder er gennemsnitligt dobbelt så høje som for naturligt grus i 0-4 mm fraktionen.

Dette kan betyde, at der kan ske frosthævning, hvis materialerne anvendes for tæt på jordoverfladen.

Beregninger viser, at det årlige forbrug af råstoffer i ledningszonen (udjævnings- og omkringfyldningslag) andrager ca. 660.000 m³.

Resultaterne godtgør alene, at de ledningstekniske forhold er tilgodeset. Forhold omkring vejbefæstelse er ikke vurderet.

Ovenstående resultater viser, at de knuste materialer kan anvendes uden for befæstede arealer (veje, stier, pladser) set ud fra et ledningsteknisk synspunkt.

Resultaterne viser, at det på dette tidspunkt (juni 1993) ikke vil være forsvarligt at bruge de knuste materialer under befæstede arealer på grund af sætninger.

USE OF CRUSHED TILE AND CONCRETE AS FILLING MATERIAL IN PIPE TRENCHES

1. Summary

Based on detailed investigations in the laboratory and test of a full-scale test field it has been investigated whether it is possible to use crushed tile and concrete in the 0-4 mm fraction as filling material in pipe trenches.

The laboratory investigations include: Grain size distribution determined by sieve analysis, determination of sand equivalent and capillarity and standard proctor tests.

The field investigations include: Wet and dry density analysis of the crushed tile and concrete by means of isotopic probe and video inspections, determination of slope and measurement of possible deformation of the pipes.

The results of the investigations show that the crushed material can be used in pipe trenches as levelling and filling material. The results have been documented by the above-mentioned investigations over a period of two years, during which period video inspections, measurements of slope and of the possible deformations of the pipes in the test field have been carried out.

Despite the fact that the compaction of the used materials does not comply with the minimum requirements stipulated for construction of roads everywhere in the test field no damage/deformations of the pipes have been observed.

The determination of the capillarity of the crushed materials show relative high heights of rise. On an average the capillary heights of rise found in these investigation are twice as high as the one of natural gravel in the 0-4 mm fraction.

This may cause frost heavings if the materials are placed too close to the surface of the ground.

Calculations show that the annual consumption (in Denmark) of raw materials in pipe trenches (levelling and filling material) amounts to approximately 660,000 m³.

The results demonstrate that only the technical conditions of the pipe are fulfilled. The conditions as concerns road consolidation have not been estimated.

The results show that the crushed materials may be used outside consolidated areas (roads, paths, open spaces) as concerns the pipe technical aspects.

The results show that at this stage there is no documentation for using the crushed materials under consolidated areas on account of a possible risk of settlement.

2. Sammenfatning

2.1 Formål og baggrund

Mængden af bygge- og anlægsaffald, der genereres hvert år, andrager i gennemsnit 4.5 mill. ton stigende til omkring 5.3 mill. ton/år frem til år 2015 /1/.

En stor del af dette, omkring 75%, udgøres af tegl og betonbrokker.

Praktiske erfaringer med nedknusning af såvel tegl som beton til anvendelse som stabilt grus i vejanlæg viser, at der bliver et stort overskud af den fine 0-4 mm fraktion på kornkurven, når kravene skal overholdes /5/.

For tegls vedkommende er dette overskud på op til 35 vægt% af udgangsmaterialet, hvilket er bekræftet af prøveknusninger udført hos Nymølle Stenindustri A/S i Hedehusene (John Haslund, pers. kom.).

For at finde et anvendelsesområde for dette overskydende materiale blev det besluttet at undersøge, om det uden problemer for ledningerne kunne anvendes som fyldmateriale i ledningsgrave.

Kravene i de eksisterende lægningsnormer forudsætter, at det benyttede fyldmateriale overvejende er sand /2,3/. Det er dog muligt at anvende andet materiale, når blot det dokumenteres, at det opfylder de stillede krav. Dette er undersøgt, dels gennem laboratorieundersøgelser, dels gennem et konkret ledningsarbejde.

I forbindelse med udførelsen af det ovennævnte ledningsarbejde er der udført et meget detaljeret måleprogram.

Ved at gennemføre en skærpet kontrol af materialernes komprimering er det sikret, at materialerne er indbygget på en rigtig måde i ledningsgravene.

Herved sikres, at eventuelle sætninger eller ødelæggelser/deformationer af de nedlagte rør kan relateres til de knuste materialer.

2.2 Resultater fra laboratorieforsøgene

I forbindelse med undersøgelserne af knust tegl og beton i 0-4 mm fraktionen er følgende undersøgelser gennemført:

- * Kornstørrelsesfordeling ved sigtning
- * Sandækvivalentbestemmelse
- * Kapillaritetsbestemmelse
- * Standard proctorforsøg.

Plastledninger

De eksisterende krav til udjævnings- og omkringfyldningsmaterialer i ledningsgrave for plastledninger, der bør opfyldes, er følgende:

- * kornstørrelser over 16 mm må ikke forekomme
- * indholdet af korn mellem 8 og 16 mm må højst være 10%
- * materialet må ikke være frosset
- * skarp flint eller andet knust materiale må ikke anvendes
- * højst 15% gennemfald på 0,075 mm sigten.

Test Parameter	Materiale	Knust tegl 0 - 4 mm	Knust beton 0 - 4 mm
Frasigtet >16 mm		0% (0%)	0% (0%)
Frasigtet 8 - 16 mm		0% (max. 10%)	0% (max. 10%)
Gennemfald på 0,075 mm sigten		14,1% (max. 15%)	5,3% (max. 15%)

Tabel 1

Resultater fra laboratorieundersøgelserne. (Gennemsnit af dobbeltbestemmelse). Tallene i parentes er de krav, der stilles til fyldmaterialer i ledningsgrave i relation til plastledninger.

Betonledninger

De eksisterende krav, der stilles til udjævnings- og omkringfyldningsmaterialer i ledningsgrave med betonledninger, er følgende:

Udjævningslag

- * kornstørrelser over 32 mm må ikke forekomme
- * indholdet af korn mellem 16 og 32 mm må højst være 10%
- * materialet må ikke være frosset.

Omkringfyldning

- * kornstørrelser over 64 mm må ikke forekomme
- * materialet må ikke være frosset
- * materialet må ikke indeholde stoffer, der er aggressive over for rørmaterialet.

Materiale	Knust tegl 0 - 4 mm	Knust beton 0 - 4 mm
Test Parameter		
Frasigtet > 16 mm	0% (max. 10%)	0% (max. 10%)
Gennemfald på 0,075 mm sigten	14,1% (ingen krav)	5,3% (ingen krav)

Tabel 2

Resultater fra laboratorieundersøgelserne. Tallene i parentes er de krav, der stilles til fyldmaterialer i ledningsgrave i relation til betonledninger.

Som det fremgår af tabellerne 1 og 2, overholder materialerne de gældende krav til fyldmaterialer i ledningsgrave for såvel plast- som betonledninger, bortset fra at der ikke må anvendes knuste materialer omkring plastledninger.

Kravet, om at der ikke må anvendes knuste materialer omkring plastledninger, skal ses i lyset af, at nogle materialer, f.eks. flint bliver skarpkantet efter knusning, hvilket kan medføre, at ledningen "skæres i stykker".

Knust tegl og beton er ikke skarpkantet på samme måde som f.eks. flint, så det vurderes, at disse materialer ikke vil give anledning til problemer.

Det fremgår af laboratorieresultaterne, at knust beton samtidigt overholder kravene til bundsikringsgrus i veje /5/, og at materialet derfor muligvis også kan anvendes til dette formål. Dette vil imidlertid kræve nogle nærmere undersøgelser.

Øvrige resultater

Som tidligere nævnt er der også foretaget kapillaritetsbestemmelse samt standard proctor indstampning. Resultaterne er præsenteret i tabel 3.

Materiale	Knust tegl 0 - 4 mm	Knust beton 0 - 4 mm
Test Parameter		
Kapillaritet	113 cm	97 cm
Standard proctor Maks. densitet t/m ³ og w opt. %	1,62/21,8	1,67/18,0

Tabel 3

Resultater fra laboratorieundersøgelserne.

Der stilles ikke i de gældende regler specifikke krav til fyldmaterialerne på disse punkter. Den kapillære stighøjde for de knuste materialer er relativt høj, i gennemsnit dobbelt så høj som for naturligt grus i 0-4 mm fraktionen. Dette kan i praksis betyde, at der kan ske frosthævning, hvis materialerne anvendes tæt på jordoverfladen.

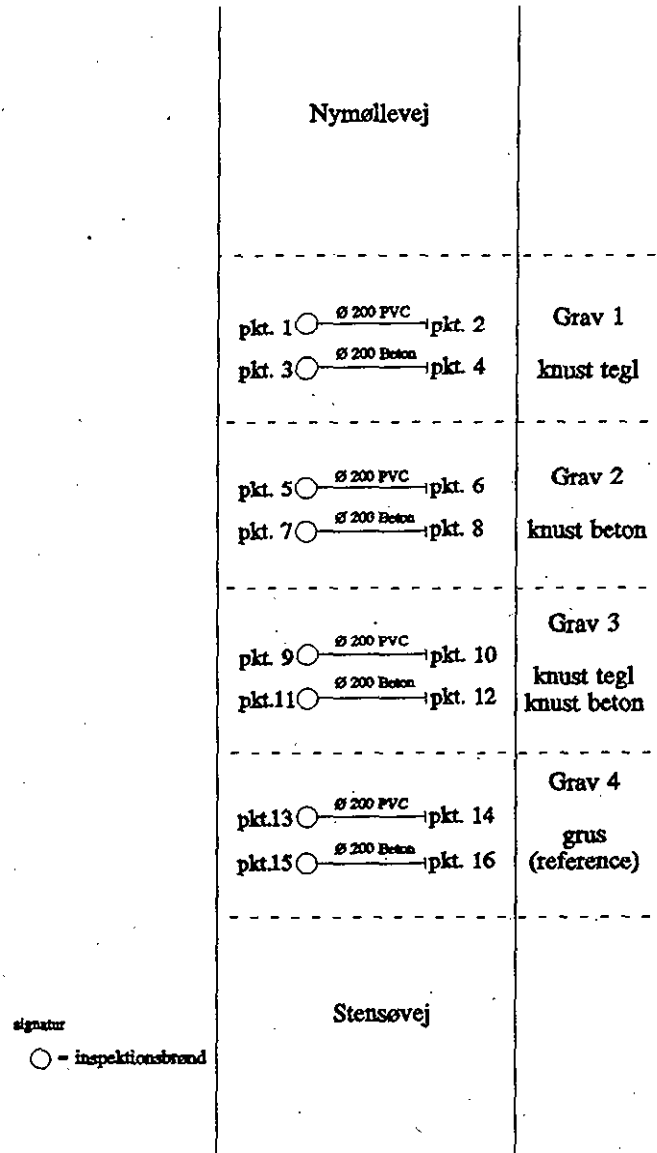
Der findes i øjeblikket intet erfaringsmateriale om problemstillingen, som kan bruges, men der udføres i øjeblikket et forsøg i Nymølle ved Hedehusene, hvor man som bundsikringsmateriale anvender knust tegl i 0-32 mm fraktionen. Erfaringerne fra dette projekt er færdigrapporteret.

Da laboratorieundersøgelserne viser, at nedknust tegl og beton ud fra de eksisterende krav til fyldmaterialer kan anvendes som fyld i ledningsgrave, er næste fase at påvise, om håndtering og anvendelse af materialerne i praksis er uden problemer.

Med udgangspunkt i resultaterne fra laboratorieundersøgelserne blev der etableret et prøvefelt i en grusgrav i Farum for på denne måde at finde ud af, om materialerne i praksis kunne anvendes som udjævnings- og omkringfyldningsmateriale.

2.3 Resultater fra fuldskalaforsøg

Prøvefeltet, se fig. 1, blev etableret i januar 1991 ved nedkørslen til en grusgrav i Farum i en naturlig grusforekomst. Såfremt ledninger lægges under andre jordbundsforhold, skal de sædvanlige forbehold tages.



Figur 1

viser en skitse over forsøgsområdet. Desuden indeholder figuren oplysninger om, hvilke fyldmaterialer der er anvendt i ledningszonen, samt hvilke kloakrør der er anvendt, og hvor.

De anvendte prøvningsmaterialers egenskaber ændres næppe, mens egenskaberne i det omkringliggende materiale, ledningsgraven placeres i, vil variere.

TV inspektionen, der blev foretaget $\frac{1}{2}$ år efter projektets etablering, viste ingen skader på ledningerne. Da ledningerne lå i den krævede minimumsdybde på 80 cm, således at påvirkningen af bilernes akseltryk er maksimalt, viste de foreløbige resultater, at de knuste beton- og teglmaterialer uden problemer kan anvendes til udjævnings- og omkringfyldningsmaterialer.

Der blev igen efter 2 års forløb foretaget en fornyet TV inspektion af prøvemarket. Resultatet viste, at der ikke var opstået synlige skader på ledningerne.

Da det ved en TV inspektion ikke er muligt at erkende deformationer på plastledninger, blev der udført en tolkning af disse. Den fremstillede tolk med \varnothing 175 mm passerede uhindret gennem de \varnothing 191 mm (indvendigt mål) PVC rør.

Den relative deformation af PVC ledninger må umiddelbart efter lægning være på op til 8%. Erfaringerne fra Nordisk Wawin A/S viser, at den maksimale deformation opnås efter 2 år, og at deformation på ledninger på op til 15% ikke medfører ledningsbrud. (Bo Vestergård, Nordisk Wawin A/S, pers. kom.).

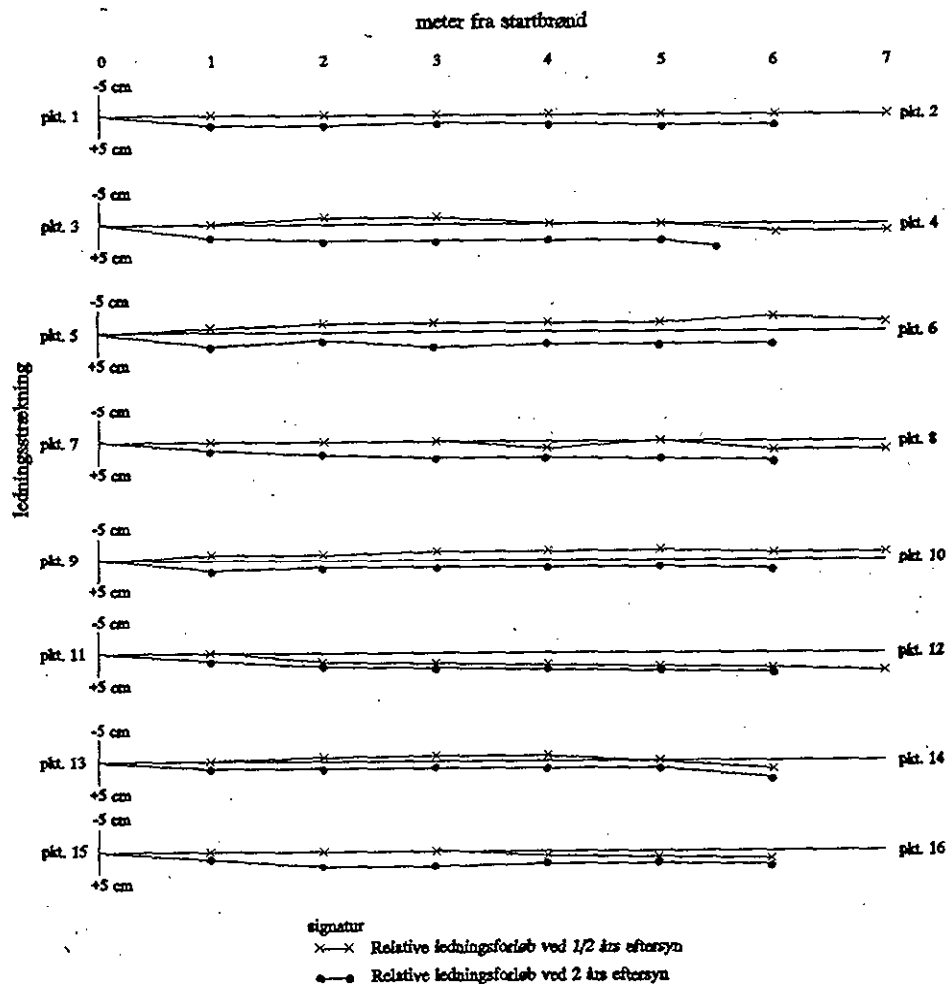
Resultatet af vore undersøgelser på prøvemarket viser, at deformationen på PVC ledningerne maksimalt efter 2 år er 8%.

Da der således ikke 2 år efter lægningen er sket større deformation, end det tillades i DS 430, må det konkluderes, at der på PVC ledningerne ikke er sket deformationer, der overskrider de gældende regler.

For at få et relativt mål for, hvor meget ledningen "satte sig" i forsøgsperioden, blev der foretaget faldmålinger på ledningerne samtidig med TV inspektionen, se fig. 2.

Resultaterne af disse viste, at de ledninger, hvor der er anvendt knuste materialer, har sat sig 3-5 cm, mens referencen har sat sig 2-4 cm. Sætningerne har ikke haft indflydelse på ledningerne. Det er ikke undersøgt, om tætheden på ledningerne er i orden set i relation til de relativt store sætninger.

Konklusionen er derfor med udgangspunkt i ovenstående resultater, at der ikke er større risiko for ledningerne ved at anvende de alternative tegl- og betonmaterialer end ved at anvende traditionelle grusmaterialer som fyld i ledningszonen.



Figur 2

Figuren viser ledningernes relative forløb, hhv. $\frac{1}{2}$ og 2 år efter prøvefeltets etablering. Figuren skal sammenholdes med fig. 1.

Erfaringerne fra etableringen af prøvefeltet viser samtidig, at de knuste beton- og teglmaterialer kan håndteres på samme måde som traditionelt anvendte materialer.

De gældende krav til komprimering af omkring- og tilfyldningsmaterialer i ledningsgrave er følgende:

Betonledninger

- Høj lægningsklasse 96% SP (Standard Proctor)
- Moderat lægningsklasse 91% SP
- Lav lægningsklasse ingen krav.

Plastledninger

Her findes ingen lægningsklasser. Kravet til komprimering er 93% SP.

Resultaterne af komprimeringskontrollen viser, at kravene til komprimering af fyldmaterialerne overholdes i omkring- og tilfyldningszonen, samt i tilfyldnings/bundsikringszonen.

I perioden primo januar 1991, hvor prøvofeltet blev etableret, til primo december 1991, hvor TV inspektionen blev foretaget, var den samlede belastning af prøvofeltet på 102 lastvognspasager i døgnet, hvilket betegnes som tung trafik /4/.

Niveau	Overkant rør Komprimerings- grad ($\rho_d, \max/W$ målt)	0,2 m over rør Komprimerings- grad ($\rho_d, \max/W$ målt)	0,5 m over rør Komprimerings- grad ($\rho_d, \max/W$ målt)	0,8 m over rør Komprimerings- grad ($\rho_d, \max/W$ målt)
Knust tegl 0-4 mm 1. Grus 0-4 mm Stabilt grus 0-32 mm	95,7%SP(1,62/17,9)*	96,0% SP(1,62/13,0)*	- 101,7% SP(1,73/3,9)* [98%]	- 93,6%VI(2,14/5,0)* [95%]
Knust beton 0-4 mm 2. Grus 0-4 mm Stabilt grus 0-32 mm	95,0%SP(1,67/7,4)*	98,7% SP(1,67/7,6)*	- 100,6% SP(1,73/3,9)* [98%]	- 92,6%VI(2,14/5,0)* [95%]
Knust beton/tegl 3. Grus 0-4 mm Stabilt grus 0-32 mm	96,6%SP(1,67/15,1)*	94,2%SP(1,67/14,5)*	- 101,0%SP(1,73/3,9)* [98%]	- 91,4%VI(2,14/5,0)* [95%]
Bundsikringsgrus 4. Stabilt grus	99,0%SP(1,66/2,8)* [98%]	101,7% SP(1,66/2,7)* [98%]	103,0% SP(1,66/3,9)* [98%]	- 93,1%VI(2,14/5,0)* [95%]

* Anvendt referenceværdi

Tabel 4

Resultater fra komprimeringskontrollen med isotopsonden, der er udført på fuldskalaforsøget/prøvofeltet i Farum. De anførte resultater er et gennemsnit af 5 isotopsonde-målinger efter 12 overkørsler med komprimeringsmateriel. Middelkravene til komprimeringen i henhold til vejreglerne er angivet i []. SP = Standard Proctor, VI = Vibrationsindstampning.

2.4 Mængder for anvendelse af knust materiale i ledningsgrave

Dette afsnit indeholder opgørelse af de mængder knuste materialer i 0-4 mm fraktionen, der kan forventes at kunne blive brugt i henholdsvis ledningsgrave for vand og kloak.

Afsnittet indeholder tallene for totalforbruget ved

- Anvendelse som udjævnings- og omkringfyldningslag samt
- Anvendelse som udjævnings-, omkringfyldnings- og tilfyldningslag.

Som fyld i ledningsgrave for kloak vil der kunne anvendes 6 mill. m³ knust materiale om året, hvis materialerne anvendes til udjævningslag, omkringfyldning og tilfyldning. Til ledningsgrave for vand vil der tilsvarende kunne bruges 0.3 mill. m³ knust tegl og beton.

Hvis nedknust tegl og beton kun anvendes til udjævningslag og til omkringfyldning i ledningsgrave for vand og afløbsledninger, vil der årligt kunne anvendes ca. 660.000 m³.

2.5 Materiel

Det er en forudsætning i projektet, at der i såvel laboratorieforsøgene som i fuldskalafor-søgene med de knuste materialer anvendes samme type materiel, der normalt bruges til håndtering af traditionelle materialer.

Årsagen til denne beslutning er, at man ved hjælp af projektet vil vise, at disse materialer kan anvendes på lige fod med traditionelle fyldmaterialer, og at det, fordi man bruger knuste fyldmaterialer, ikke er nødvendigt at købe nyt materiel.

Anvendelse af de knuste materialer vil derfor ikke kræve særlige investeringer fra entreprenørernes side i forhold til de fyldmaterialer, man plejer at anvende.

I beskrivelserne i afsnit 5 omkring anlæggelsen af prøvofeltet i en grusgrav i Farum er det nævnt, hvilke typer materiel der er anvendt, ligesom der er en præcis beskrivelse af arbej-dets udførelse.

3. Normkrav til fyldmaterialer i ledningsgrave

3.1 Indledning

Kravene til fyldmaterialer, der skal anvendes i ledningsgrave, fremgår af:

- Norm for lægning af fleksible ledninger af plast i jord /3/, samt
- Norm for lægning af stive ledninger af beton mv. i jord /2/.

Begge normer er udformet som "funktionskravs-normer". Dette betyder, at man ikke konkret beskriver, hvorledes ledningsanlæggene skal udføres, men kun stiller krav til, hvorledes de skal fungere.

I normerne gives der som hovedregel vejledning i, hvorledes funktionskravene kan opfyldes.

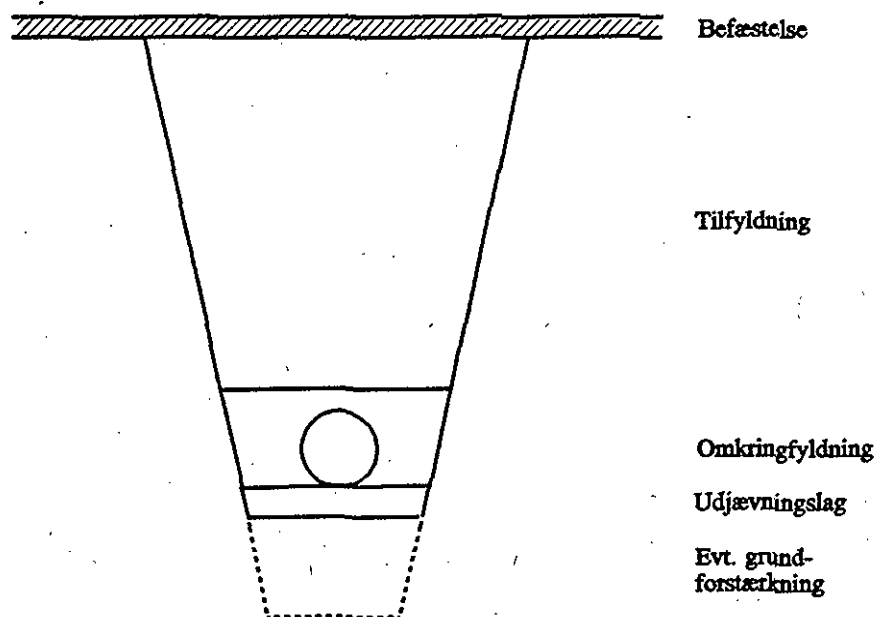
Der er desuden åbnet mulighed for at udføre tingene på en anden måde eller med andre materialer end de traditionelle, blot man beviser, at de grundlæggende funktionskrav er opfyldt.

I begge normer omtales sand som omkringfyldningsmateriale til ledninger, og de funktionskrav, der er stillet op, bygger på den viden, man har, om hvordan sand fungerer i en ledningsgrav.

Det væsentligste funktionskrav er, at fyldet skal have tilstrækkelig styrke til at optage og fordele belastninger fra trafik og overliggende jord.

For nedknust tegl og beton skal man altså dokumentere, at det kan komprimeres til det i projektet angivne for fyldet i ledningsgraven.

3.2 Ledningsgraves principielle opbygning



Figur 3
Tværsnit af ledningsgrav.

I figur 3 er vist et tværsnit af en ledningsgrav og betegnelserne for de enkelte lag, der indgår. I det følgende er normernes anvisninger for de enkelte lag beskrevet, og nedknust tegl og beton er vurderet i relation hertil.

3.2.1 Grundforstærkning

Grundforstærkning udføres, hvis jordbunden ikke er bæredygtig, eller hvis man fejlagtigt har gravet for dybt.

Grundforstærkningen skal danne et bæredygtigt lag, og den udføres som regel med grus eller singels, der komprimeres.

Nedknust tegl og beton vil kunne anvendes til grundforstærkning, når det kan dokumenteres, at det vil kunne udlægges i et bæredygtigt lag.

3.2.2 Udjævningslaget

Udjævningslaget skal understøtte rørene og beskytte dem mod påvirkninger fra ujævnheder i gravens bund. Materialet til udjævningslaget skal være komprimerbart og sammensat på en sådan måde, at hverken dets egenskaber eller en komprimering kan forårsage skade på rørene.

Som vejledning angives i normerne, at materiale, der opfylder nedenstående betingelser, vil opfylde normens funktionskrav.

Ledninger af plast:

- kornstørrelse over 16 mm må ikke forekomme
- indholdet af korn mellem 8 og 16 mm må højst være 10% samt
- skarp flint eller andet knust materiale må ikke forekomme.

Ledninger af beton:

- kornstørrelse over 32 mm må ikke forekomme samt
- indholdet af korn mellem 16 og 32 mm må højst være 10%.

Disse betingelser er opstillet på baggrund af erfaringer med sand. Tilsvarende betingelser vil kunne opstilles for knust tegl og beton.

Under materialekravene omkring plastledninger står der, at skarp flint og andet knust materiale ikke må anvendes. Her tænkes der primært på knust granit mv. Kravet skyldes, at skarpkantede sten kan give ridser i plastrørene og give punktblastninger. Dette nedsætter rørenes levetid.

Det vurderes at knust tegl og beton ikke er mere skarpkantet end traditionelle bakkematerialer i samme kornfraktion.

3.2.3 Omkringfyldning

Omkringfyldningen skal sikre, at ledningen opnår tilstrækkelig støtte på alle sider, så belastningen fra området omkring ledningen kan overføres uden skadelige punktblastninger og lignende.

I normerne angives, at nedenstående krav skal overholdes, hvis materialerne skal anvendes omkring:

Plastledninger:

- For plastrør skal materialet opfylde de samme krav, som der stilles til materialer, der anvendes i udjævningslaget.

Betonledninger:

- Komprimeringen skal kunne udføres som foreskrevet. (Metode og krav for det enkelte projekt).
- Stenstørrelser over 64 mm må ikke forekomme.
- Materialet må ikke indeholde stoffer, der er aggressive over for betonrøret (f.eks. humus).

I vejledningen er det angivet, at et andet materiale end grus kan anvendes, hvis der er vejledning i, hvordan fyldning og komprimering skal foregå. Desuden skal det eftervises, at den krævede komprimering kan opnås.

Knust tegl og beton kan derfor anvendes, hvis det kan bevises, at det kan komprimeres tilstrækkeligt, og hvis der findes anvisning i fyldning og komprimering.

3.2.4 Tilfyldning

Tilfyldningen skal kunne udføres med de pågældende materialer på en måde, så den opfylder de krav, der er stillet til den ønskede konstruktion.

Normalt anvender man den opgravede jord som tilfyldning for at sikre sig, at materialet kan arbejde sammen med den omkringliggende jord.

Under veje stilles der dog særlige krav, da man skal sikre vejens bæreevne.

4. Mængdemæssige beregninger for anvendelse af fyld i ledningsgrave

4.1 Prognoser for ledningsanlæg

Baseret på oplysninger fra rørfabrikanter, kommuner og vandværker er der fundet frem til følgende antal kilometer for anlæg af afløbsledninger og vandledninger af beton og plast i de kommende år.

Afløb

- Nyanlæg:
Hovedledninger med diameter over 200 mm
1000-1100 km/år
- Udskiftning af gamle ledninger og ændring af fællesledning til separat spildevand- og regnvandsledning
140-160 km/år.

Dimensionsområdet 200-300 mm udgør ca. 80% af denne mængde, og dimensionsområdet 400-600 mm udgør ca. 20%.

Vand

Behovet vil primært omfatte udbygning af vandforsyningsnet og sammenkobling af mindre vandværker i forbindelse med vandforsyningsplaners gennemførelse. Herunder vil der ske en tilkobling af en række ejendomme, hvor private vandboringer lukkes på grund af forurening.

Af de 1000 km nyanlagte ledninger antages det, at 90% af rørene ligger i dimensionsområdet 75-160 mm, mens de store ledninger udgør 10%.

4.2 Andre forudsætninger for beregningen

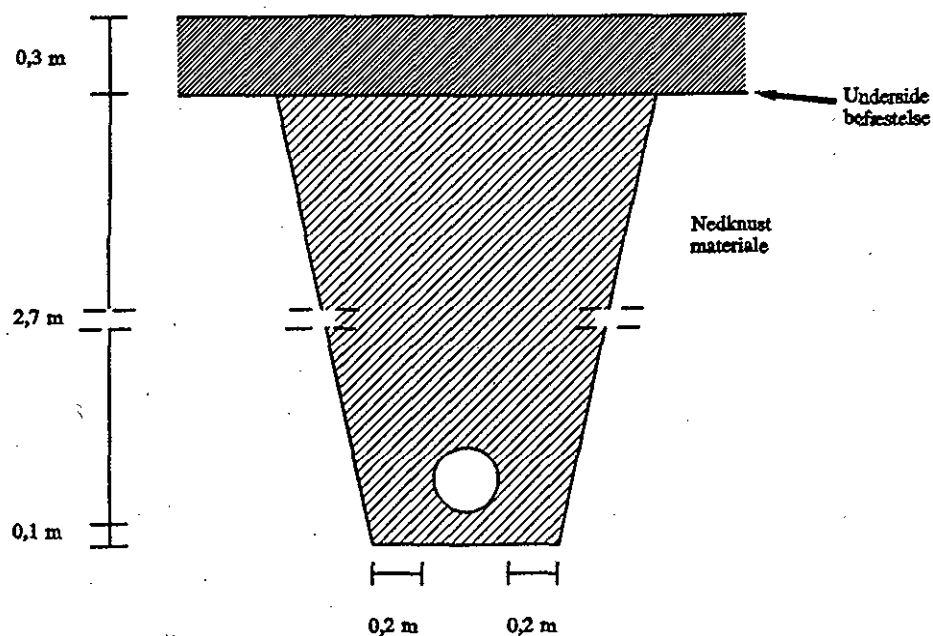
I tabel 5 er forudsætningerne angivet. Forudsætningerne om beliggenhed under vej er bedste skøn. Skønnet er lavet på baggrund af erfaringer med ledningsarbejder sammenholdt med de tidligere nævnte opbygninger af de enkelte typer af ledningsgrave.

Art	Ledningslængde	DIMENSION		BELIGGENHED	
		Lille	Stor	Under vej	Ikke under vej
Afløb	1100 km/år	80%	20%	80%	20%
Afløb, udskiftning	150 km/år	80%	20%	100%	0%
Vand	1000 km/år	90%	10%	50%	50%

Tabel 5
Forudsætninger for beregning.

4.3 Anvendt mængde i en rørgrav

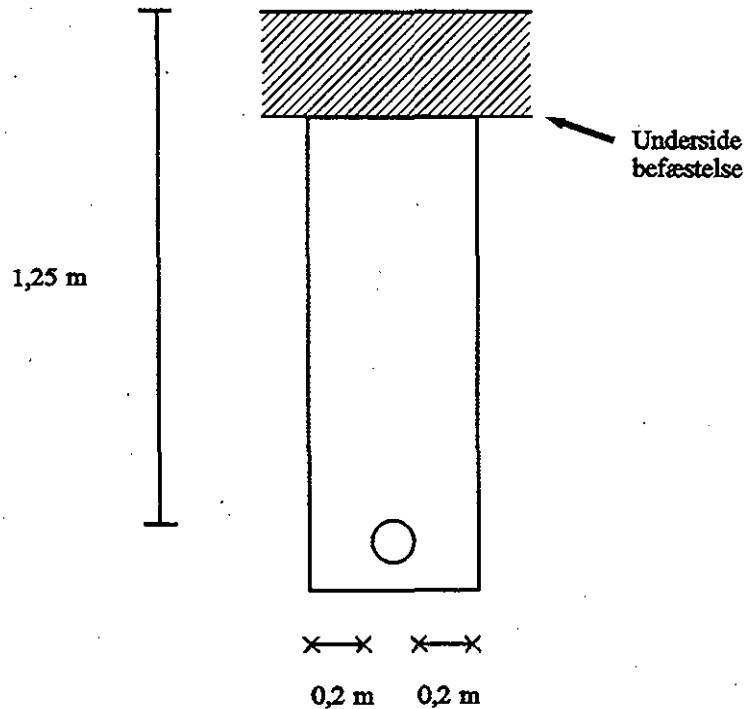
I figur 2 er vist, hvorledes de nedknuste materialer kan anvendes i en ledningsgrav for kloak.



Figur 4
Nedknuste materialer anvendt under, omkring og over rørene.

Lægningsdybden for kloakledninger varierer fra 2-8 m. I det følgende er der regnet med en gennemsnitsdybde på 3 m.

Når nedknust materiale anvendes som fyld i ledningsgrave, bliver der noget jord i overskud, som skal køres væk. Dette indebærer, at anvendelsen af nedknust tegl i store mængder formentlig kun er et realistisk alternativ til fyld, dér hvor myndighederne kræver; at jorden udskiftes af hensyn til fremtidige sætninger i f.eks. veje.



Figur 5
Tværsnit af en ledningsgrav for vand.

Nedknuste materialer vil derfor primært kunne anvendes ved anlæg eller reparation af ledninger i byer og primært under vejbaner. Dette er anvendt som beregningsforudsætninger i det følgende.

4.4 Beregninger af fyldmængder

Ud fra de tidligere nævnte forudsætninger for nyanlægning og omlægning af ledninger beregnes følgende mængder fyld til anvendelse i ledningsgrave.

Afløb

Nyanlæg:

- Små ledninger	704 km	4.006.400 m ³
- Store ledninger	176 km	1.098.000 m ³

Udskiftning:

- Små ledninger	120 km	683.000 m ³
- Store ledninger	30 km	187.200 m ³

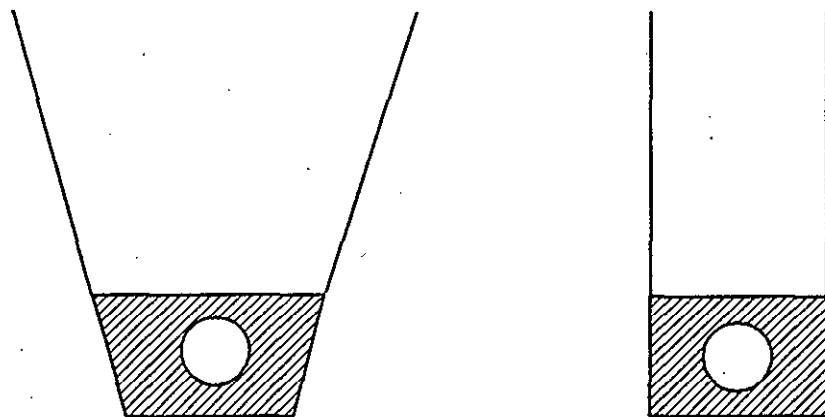
Vandledninger:

- Små ledninger	450 km	255.200 m ³
- Store ledninger	50 km	33.000 m ³

Som fyld i ledningsgrave for kloak vil der kunne anvendes 6 mill. m³ knuste materialer om året, hvis materialerne anvendes til udjævningslag, omkringfyldning og tilfyldning. Til ledningsgrave for vand vil der tilsvarende kunne bruges 0.3 mill. m³ knuste materialer.

4.5 Mængdeberegning for materiale til udjævning og omkringfyldning

I figur 6 er vist en skitse for en ledningsgrav, hvor det nedknuste materiale kun anvendes som udjævningslag og omkringfyldning.



Figur 6

Ledningsgrave med nedknust materiale rundt om rørene.

I det følgende er det beregnet, hvor meget nedknust materiale der årligt kan anvendes, hvis materialerne alene anvendes rundt omkring rørene.

Beregningsforudsætningerne er de samme som tidligere, bortset fra at alle ledningsarbejder medregnes. Det betyder, at de ledninger, der ikke ligger under veje, medregnes.

4.6 Beregning af mængder

Ud fra ovenstående forudsætninger nås der frem til følgende beregninger:

Afløb

Nyanlæg:

- Små ledninger	880 km	302.500 m ³
- Store ledninger	220 km	148.400 m ³

Udskiftning:

- Små ledninger	120 km	41.160 m ³
- Store ledninger	30 km	20.250 m ³

Vandledninger

- Små ledninger	900 km	127.980 m ³
- Store ledninger	100 km	21.000 m ³

Hvis nedknust tegl og beton kun anvendes som udjævningslag og til omkringfyldning i ledningsgrave for vand og afløbsledninger, vil der årligt kunne anvendes ca. 660.000 m³.

5. Praktisk gennemførelse

5.1 Laboratorieundersøgelser

5.1.1 Formålet med undersøgelserne

Formålet med at undersøge knust tegl og knust beton i 0-4 mm fraktionen var at finde ud af, om materialerne ud fra et ledningsteknisk synspunkt kunne bruges som fyld i ledningsgrave på lige fod med kendte materialer.

Dette ønske opstod i forbindelse med, at en stor del af de alternative materialer, der i dag kan bruges i forbindelse med f.eks. anlægelse af veje, efterlader en større mængde materialer i netop 0-4 mm fraktionen.

5.1.2 Udførte forsøg

På de anvendte materialer af knust beton og knust tegl blev der udført følgende undersøgelser:

- * Våd- og tørdensitetsbestemmelse i marken med isotopsonde
- * Kornstørrelsesfordeling ved sigtning
- * Sandækvivalentbestemmelse (SE)
- * Kapillaritetsbestemmelse
- * Standard proctorforsøg.

5.1.3 Vurderinger

Resultaterne af undersøgelserne viser, at man uden problemer for ledningerne kan anvende knust tegl og knust beton i 0-4 mm fraktionen til udjævningslag, omkringfyldningsmateriale og tilfyldningsmateriale.

I tabel 1, side 10 er resultaterne fra laboratorieundersøgelserne præsenteret.

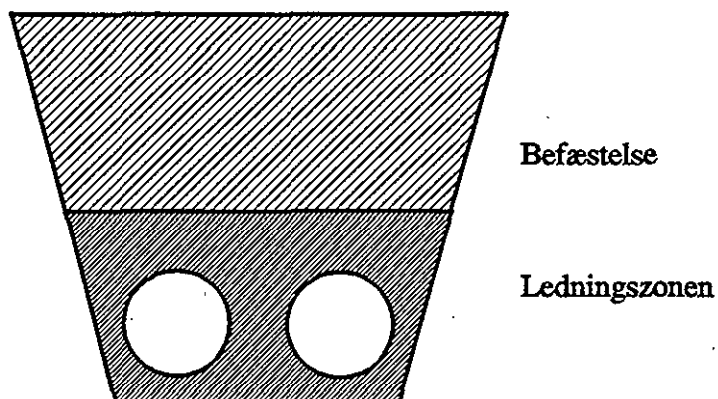
Resultaterne af undersøgelserne findes i bilag 1.

5.2 Etablering af prøvefelt

Der blev på tværs af nedkørslen til grusgraven hos Farum Sten- & Gruskompagni a/s i Lyngby ved Farum etableret et prøvefelt bestående af 4 parallelle ledningsgrave, se figur 5. Prøvefeltet blev etableret i januar 1991.

5.2.1. Prøvefeltets opbygning

Prøvefeltet er principielt opbygget som vist i nedenstående figur.



Det er kun forholdene i ledningszonen, der er undersøgt og dokumenteret.

De 4 ledningsgrave i feltet har følgende opbygning:

Ledningsgrav nr. 1, opbygning:

Opbygning		Lagtykkelse
Stabilt grus	0-32 mm grus	30 cm
Tilfyldning/ bundsikring	0-4 mm grus	20 cm
Omkringfyldning	0-4 mm knust tegl	30 cm
Udjævningslag	0-4 mm knust tegl	10 cm

Ledningsgrav nr. 2, opbygning:

Opbygning		Lagtykkelse
Stabilt grus	0-32 mm grus	30 cm
Tilfyldning/ bundsikring	0-4 mm grus	20 cm
Omkringfyldning	0-4 mm knust beton	30 cm
Udjævningslag	0-4 mm knust beton	10 cm

Ledningsgrav nr. 3, opbygning:

Opbygning		Lagtykkelse
Stabilt grus	0-32 mm grus	30 cm
Tilfyldning/ bundsikring	0-4 mm grus	20 cm
Omkringfyldning	0-4 mm knust tegl og knust beton (1:1)	30 cm
Udjævningslag	0-4 mm knust tegl og knust beton (1:1)	10 cm

Ledningsgrav nr. 4, opbygning. Reference:

Opbygning		Lagtykkelse
Stabilt grus	0-32 mm grus	30 cm
Tilfyldning/ bundsikring	0-4 mm grus	20 cm
Omkringfyldning	0-4 mm grus	30 cm
Udjævningslag	0-4 mm grus	10 cm

Placeringen af prøvefeltet skyldes, at der er en stor belastning af vejen, samt en nøje kontrol med, hvor stor den samlede belastning på vejen er. Det er derfor muligt at beregne den totale trafikbelastning på prøvefeltet over en given periode.

5.2.2 Arbejdets udførelse

Ledningsgravene blev gravet i en bredde på ca. 1 meter og en dybde på ca. 0,80 meter.

I en afstand af 20 cm fra ledningsgravens sider blev der nedlagt en Ø 200 mm betonledning, og i modsat side blev der nedlagt en Ø 200 mm PVC ledning, se fig. 7.



Figur 7

Billedet viser de udlagte PVC- og betonledninger inden udlægning af omkringfyldningsmateriale og inden montering af inspektionsbrønde.

Ledningerne blev udlagt vandret på udjævningslaget.

Den ene ende af ledningerne blev afproppet, mens der i den anden ende blev monteret inspektionsbrønde til efterfølgende TV inspektion og faldmålinger af ledningerne, se fig. 8.



Figur 8

Billedet viser PVC- og betonledninger med påmonterede inspektionsbrønde.

Efter lægningen af ledningerne blev 30 cm omkringfyldningsmateriale udlagt, hvorefter der blev foretaget komprimering med en vibrationsstamper af fabrikatet Wacker, type BS65Y.

Efter hver 2 overkørsler blev der udført måling af komprimeringen med en isotopsonde af fabrikatet Troxler, type 3440. Målingerne blev udført i samme punkter op gennem lagene.

Efter færdiggørelsen af omkringfyldningslaget, blev tilfyldningslaget udlagt, og igen blev der udført komprimering af materialerne. Komprimeringen blev her udført med en pladevibrator af fabrikatet Wacker, type 3345.

Efter hver 2 overkørsler blev der udført komprimeringskontrol med isotopsonden.

Målingerne blev gentaget, indtil der var kørt 12 gange over materialerne med komprimeringsmateriellet.

Efter udlægning af tilfyldningsmaterialerne, der i dette tilfælde også var bundsikringsmateriale til vejoverbygningen pga. den lave lægningsdybde, blev der udlagt 30 cm stabilt grus 0-32 mm, type 2.

Materialet blev komprimeret og kontrolleret efter de samme retningslinier som for tilfyldningsmaterialet.

Der er anvendt samme metoder til udlægning, komprimering og kontrol af alle 4 ledningsgrave.

5.3 Kontrol af prøvafelt

Indledning

For at sikre, at de lagte ledninger i de 4 ledningsgrave ikke var beskadiget i forbindelse med anlæggelsen af prøvafeltet i Farum, er der udført en kontrol af ledningerne efter $\frac{1}{2}$ år og 2 år.

Kontrollen er gennemført, dels for at dokumentere kvaliteten af de nylagte ledninger, dels for at kunne følge en eventuel udvikling af skader på de lagte ledninger.

Kontrollen af ledningerne indeholder to TV inspektioner, to faldmålinger samt en tolkning.

TV inspektionen vil afsløre eventuelle revner i betonrørene eller deformationer af PVC rørene.

5.3.1 TV inspektion af ledninger

I juli 1991, 6 måneder efter etableringen af prøvafeltet, blev der foretaget en TV inspektion af ledningerne i prøvafeltet, se fig. 9. Inspektionen blev foretaget for at kunne dokumentere ledningernes tilstand. Årsagen, til at man ventede i 6 måneder, skyldes primært, at man ud fra praktiske erfaringer ved, at revner og deformationer af ledninger allerede viser sig på dette tidspunkt, hvis ledningsarbejdet er dårligt udført, eller hvis de anvendte fyldmaterialer ikke er egnede til formålet.

Det er ud fra TV inspektion ikke muligt at konstatere ledningernes tæthed i forbindelse med de sætninger, der er sket.



Figur 9 og 10

Billederne viser det anvendte TV inspektionsudstyr før og under gennemførelsen af TV inspektionen.

I januar 1993, 2 år efter etableringen af prøvefeltet, blev der igen foretaget en TV inspektion for at konstatere evt. skader på ledningerne.

Resultaterne fra denne viser, at der ikke er sket synlige skader på disse. Det ser derfor ud til, at man uden problemer kan anvende de knuste materialer på linie med traditionelt anvendte materialer.

Hvis der ønskes yderligere information omkring resultaterne af TV inspektionen henvises til bilagsrapporten.

5.3.2 Faldmålinger på ledninger

For at kunne se, om ledningerne "sætter sig" efter et stykke tid, blev der udført faldmålinger på ledningerne i prøvefeltet efter hhv. 6 måneder og 2 år (samtidig med TV inspektionen). Fig. 9 viser det anvendte udstyr til faldmåling.



Figur 11

Billedet viser en detalje omkring gennemførelsen af faldmålingerne på prøvefeltet.

Resultaterne viste, at alle ledninger havde sat sig få cm. Der er intet, der tyder på en forskel i sætningen mellem de ledninger, der er udlagt i knust tegl og beton, og de ledninger, der er udlagt i grus.

Hvis der ønskes yderligere information for resultaterne af faldmålingerne henvises til bilagsrapporten.

5.3.3 Fremtidige undersøgelser

Projektet godtgør alene, at ledningstekniske forhold er tilgodeset ved anvendelse af de alternative materialer.

Dokumentation af materialernes opfyldelse af vejtekniske behov - f.eks. bæreevne, deformationssikkerhed, permeabilitetsforhold og indbygningsforhold - vil kræve yderligere omfattende undersøgelser.

6. Litteraturliste

1. Miljøprojekt nr. 150. Prognose for bygge- og anlægsaffald - hovedrapport
2. Lægning af stive ledninger af beton mv. i jord. DS 437, 1986
3. Lægning af fleksible ledninger af plast i jord. DS 430, 1986
4. Vejdirektoratet. Retablering af kommuneveje efter ledningsarbejder. Statens Vejlaboratorium. Rapport nr. 61, 1986
5. DS 401. Norm for sand, grus og stenmaterialer, 2. udgave 1977.



