



**Praktisk komprimeringskontrol
med Isotopudstyr**

IRRD INFORMATION

Subject classification: Field 51 - Earthworks and soil drainage
Field 52 - Construction of pavements and surfacings

Keywords:	Denmark	8028
	Research report	8559
	Compaction	3686
	Compaction (State of)	5904
	Surveillance	9101
	Test	6255
	In situ	6226
	Apparatur (Measuring)	6155
	Back Scattering Apparatus	6160
	Density	5908
	Nucleonics	6735
	Roadbase	2961
	Frost Blanket	2960
	Subgrade	2950

Title: Praktisk komprimeringskontrol med Isotopudstyr

Author: Steen Leksø
P.G. Dinesen

Abstract: The most common method of measuring the density of the unbound materials of the subgrade is the so-called sand replacement method. This method has been used for many years. A number of experiments have therefore been made during the years to find even better methods of measuring so as to obtain more accurate and faster measuring results. The National Road Laboratory has followed this development at an international level and has performed additional experiments, as per the literature list. Furthermore literature studies and field tests have been made in practice with nuclear equipment of the type described in the literature list (8). Information on this equipment is available as Technical Notes and in data collections.

The main message of this report is, that determination of density in the subbase and pavement layers by means of nuclear equipment is today practically possible and reasonable. This is based on examinations made by the laboratory as well as on literature studies.

UDK: 624.138:539.16
625.731.2



Praktisk komprimeringskontrol med Isotopudstyr

Steen Leksø
P.G. Dinesen

SUMMARY

The most common method of measuring the density of the unbound materials of the subgrade is the so-called sand replacement method. This method has been used for many years. A number of experiments have therefore been made during the years to find even better methods of measuring so as to obtain more accurate and faster measuring results. The National Road Laboratory has followed this development at an international level and has performed additional experiments, as per the literature list. Furthermore literature studies and field tests have been made in practice with nuclear equipment of the type described in the literature list (8). Information on this equipment is available as Technical Notes and in data collections.

The main message of this report is, that determination of density in the subbase and pavement layers by means of nuclear equipment is today practically possible and reasonable. This is based on examinations made by the laboratory as well as on literature studies.

INDHOLDSFORTEGNELSE

RESUME

1.	KOMPRIMERING OG TÆTHED	side 1
2.	KONTROLMETODER	side 1
2.1	Metodebeskrivelse	side 1
2.2	Bæreevne og styrke	side 2
2.3	Lejringstæthed	side 2
2.4	Deformationsegenskaber	side 2
3.	ISOTOPMETODEN	side 3
4.	GÆLDENDE KOMPRIMERINGSKRAV OG METODER	side 4
5.	FORMULERING AF KRAV VED ISOTOPKONTROL	side 5
6.	LITTERATURLISTE	side 11

BILAG

- 1 Sammenligning af sandefterfyldningsforsøg og isotopmålinger, kontrolafsnit med stabilgrus.
- 2 Sammenligning af sandefterfyldningsforsøg og isotopmålinger, kontrolafsnit med bundsikringssand.
- 3 Sammenligning af sandefterfyldningsforsøg og isotopmålinger, kontrolafsnit med moræneler.

RESUME

Den mest almindelige metode til måling af et ubundet bærelagsmateriales densitet, er den såkaldte sandefterfyldningsmetode. Denne metode har været anvendt i mange år. Der er derfor i årenes løb eksperimenteret en del med at fremstille endnu bedre målemetoder med henblik på at få mere nøjagtige eller hurtigere måleresultater. Statens Vejlaboratorium har fulgt denne udvikling internationalt og selv ladet udføre supplerende forsøg, jf. litteraturlisten. Herudover er der i de sidste år gennemført litteraturstudier og praktiske markmålinger med isotopudstyr af den type, der er beskrevet i litteratur nr. (8). Disse oplysninger findes pt. som interne notater og datasamlinger.

Denne rapport's hovedbudskab er, at densitetsbestemmelse på underbunds- og bærelagsmaterialer ved hjælp af isotopmålinger i dag er praktisk muligt og hensigtsmæssigt. Dette baseres på såvel egne undersøgelser som litteraturstudier.

Metoden er særdeles velegnet, hvor der ønskes et hurtigt resultat samt i materialer med et stort stenindhold. I sidstnævnte tilfælde omtaler rapporten kort muligheden for at anvende fast lejring bestemt ved ASTM-vibrationsindstampning af totalmaterialet som en alternativ referenceværdi til proctorværdien. Endelig omtales, at isotopmetoden menes at være mindre personafhængig end de gængse målemetoder.

Med henblik på praktisk anvendelse af isotopmetoden til densitetsbestemmelse er der foretaget praktiske sammenligninger med sandefterfyldningsmetoden. Denne sammenligning er omtalt i kapitel 4, idet de målte komprimeringsgrader ved de to metoder er stillet op over for hinanden. Der er her kun omtalt de seneste danske erfaringer, der dog er sammenfaldende med de fleste internationalt rapporterede undersøgelser.

Gennemgående findes der nogle få %'s mindre komprimeringsgrader med isotopmetoden end ved sandefterfyldningsmetoden, hvilket skyldes en række ensidige fejl ved begge metoder, der dog er størst ved sandefterfyldningsmetoden.

Rapporten lister en række gældende danske komprimeringskrav til ubundne materialer, der traditionelt er baseret på sandefterfyldningsmetoden. På basis af den omtalte praktiske afprøvning må der - såfremt komprimeringskravene ikke ønskes skærpet - ske en korrigerende af talværdierne. Det foreslås at nedsætte talværdien for komprimeringsgraden for stabilt grus med 3% og for moræneler og bundsikring med 2%, når densiteten bestemmes ved isotopmetoden.

Med hensyn til metoden for komprimeringskontrol med isotopudstyr og betjening og indretning af udstyret henvises til rapporterne: Leveringsbetingelser og prøvningsmetoder nr. 16: "Komprimeringskontrol efter isotopmetode" og Notat 169: "Brugervejledning til isotopsonde Tröxler 3411 B".

1. KOMPRIMERING OG TÆTHED

Større tæthed betyder bedre egenskaber for de fleste vejbygningsmaterialer. Større tæthed - også kaldet densitet - betyder, at bæreevnen stiger, stabiliteten forøges og sætningerne reduceres. Den større tæthed opnås gennem komprimering f.eks. tromling, hvorved materialets densitet forøges ved udpresning af luft.

Den ved komprimering opnåede densitet er ikke alene en materialeegenskab, men er afhængig af materialets aktuelle tilstand - f.eks. vandindhold - og af underlagets type og tilstand. En lav densitet er derfor ikke ensbetydende med mangelfuld komprimeringsindsats, men kan skyldes for højt vandindhold i materialet, svag underbund som modhold og lignende.

Priserne på vejbygningsmaterialer bevirker, at materialernes egenskaber må udnyttes fuldt ud. Det er derfor klart økonomisk fordelagtigt for bygherrer at sikre sig, at materialerne i en vejbefæstelse og i underbunden er rigtigt komprimeret.

Der har derfor igennem tiderne været arbejdet meget med at finde en objektiv og praktisk målemetode til at konstatere, om den ønskede densitet er opnået.

2. KONTROLMETODER

Internationalt anvendes en række metoder ved komprimeringskontrol og tilhørende kravformuleringer. Metoderne kan f.eks. opdeles i følgende hovedtyper:

1. Metodebeskrivelser for komprimering
2. Registrering af bæreevne eller styrke
3. Bestemmelse af lejringstæthed
4. Måling af deformationsegenskaber.

2.1 Metodebeskrivelse

Metodebeskrivelser (1) foreskriver, hvordan komprimeringsarbejdet skal udføres. Følges proceduren er bygværket dermed godkendt. Metoden er meget enkel og praktisk at anvende.

Det er en klar ulempe, at typen og tilstanden af materialet samt underlaget skal være kendt inden for relativt snævre grænser, for at en relevant metodebeskrivelse kan opstilles. Det er ligeledes ikke muligt at foretage "efterkontrol" for bygherren efter arbejdets udførelse.

2.2 Bæreevne og styrke

Til denne type af direkte målemetoder hører punktmålingerne: Pladebelastning, faldlodsmåling, mark-CBR og vingestyrkemåling. Gennemgående ulemper ved disse metoder er, at de målte egenskaber ikke alene afhænger af den opnåede komprimering, men nok så væsentligt af materialernes tilstandsparametre såsom vandindhold. Denne afhængighed af materialets øjeblikkelige tilstand kan være en dominerende faktor, men måles ved brugstilstanden giver metoden de direkte brugsmæssige egenskaber, når bortses fra værdien af sidestøtte fra højereliggende lag.

2.3 Lejringstæthed

Disse metoder er baseret på bestemmelse af materialets resulterende tørdensitet. Til disse metoder hører sandefterfyldningsmetoden, stikcylindermetoden, vandballonmetoden og isotopmetoden. Fordelen ved disse metoder er, at der fremkommer et talmæssigt mål for effekten af komprimeringen i det pågældende punkt.

Målingerne udføres som stikprøver i et antal udvalgte punkter. Disse målinger vil naturligt få nogen spredning stammende fra såvel variation i materialens densitet, som fra nøjagtighed i målemetoderne. Der skal derfor udføres et så stort antal målinger, at der kan foretages en statistisk efterbehandling.

Med undtagelse af isotopmåling er metoderne langsommelige - hver måling tager ca. 20 min. for en udtagning med efterfølgende nedtørring af materialet i flere timer. For de førstnævnte manuelle metoder gælder ligeledes at der kræves stor omhyggelighed og grundighed, ikke mindst i arbejdet med materialer med højt stenindhold, meget fugtigt materiale eller materiale i løs lejring. Resultaterne kan derfor i nogen grad være personafhængige.

Sandefterfyldningsmetoden har i mange år i Danmark været den foretrukne målemetode til bestemmelse af densiteten. Selv om denne målemetode har en lang række af de ovenfor beskrevne ulemper, er det alt i alt en praktisk, anvendelig målemetode, der derfor også har vundet stor udbredelse. Fastsættelse af krav til det færdige komprimeringsarbejde hidrører i Danmark fra erfaringer primært baseret på, at denne metode og dermed de usikkerheder som denne måtte indeholde i form af ensidige fejl og lignende. Selv om målemetoden fortsat kan anbefales, er det ikke unaturligt, at der igennem årene har været gjort forsøg på at finde hurtigere eller på andre måder bedre målemetoder.

2.4 Deformationsegenskaber

Materialers komprimering kan følges ved deformationsmålinger i punkter ved nivellement. Anvendelse af nivellement i et net af punkter er specielt egnet til grovkornede skærve- og pakstenslag, men forudsætter, at det valgte komprimeringsmateriel er egnet til opgaven.

Komprimeringskontrol med kontinuerlig registrering af deformationsegenskaber er f.eks. "Compaction meter" (2), et accelerometer fastgjort på en vibrations-tromle, der registrerer underlagets reaktion på slagpåvirkningen. Da denne reaktion også afhænger af underlagets øjeblikkelige tilstand såsom vandindhold er apparaturet nok bedst til relative vurderinger, f.eks. udpegning af særlig dårlige områder eller vurdering af effekten af yderligere tromlepasager, som en direkte besked til tromleføreren.

En anden god målemetode med kontinuerlig registrering er den såkaldte "proof-rolling", kontroltromling, hvor den færdigkomprimerede overflade gennemkøres med en tung enkel tromle, medens nedsynkningen registreres. Dette giver, bedre end stikprøver i nogle udvalgte punkter, et billede af komprimeringens ensartethed.

3. ISOTOPMETODEN

Isotopmetoden (3) hører som nævnt til typen af metoder hvor lejringsstæthedens stikprøvevis bestemmes i punkter. Ved isotopmetoden bestemmes materialets våddensitet som dæmpningen af γ -stråling fra en nedpresset kilde og vandindholdet som mængden af reflekterede, opbremsede neutroner som følge af vandets brintindhold. Tørdensiteten kan derefter beregnes.

En fordel ved metoden er dens hurtighed. Efter ca. 1 minuts talletid fås talværdier for tørdensitet og vandindhold samt, hvis en referenceværdi er indlæst også komprimeringsgraden. En anden fordel er den mindre forstyrrelse af underlaget, hvilket giver mulighed for også at måle på løst lejret og vådt materiale uden personindflydelse.

De største problemer siden metodens fremkomst i begyndelsen af 50'erne har været at tilvejebringe en fast kalibrering, idet kalibrering til sandefterfyldningsmetoden udført af en laborant på et materiale medfører afvigelser i forhold til andre laboranter på andre materialer (9).

Den løsning de fleste i dag går ind for er en "fabrikskalibrering", hvor udstyret med meget små afvigelser ($\pm 6 \text{ kg/m}^3$) er justeret til at vise "den sande værdi" for densiteten af udsavede standardblokke i intervallet fra 1600 kg/m^3 til 2725 kg/m^3 .

For fortsat at kunne anvende erfaringer fra traditionelle målinger, f.eks. med sandefterfyldningsmetoden, må det ved kravfastsættelsen for det enkelte materiale vurderes, hvilken afvigelse der ved "normal udførelse" af sandefterfyldningerne ville være til isotopmetodens værdier.

Af ulemper ved metoden bør nævnes, at metoden forudsætter homogenitet af objektet, idet måleværdierne ikke giver en sand gennemsnitsværdi, men en værdi der domineres af de overfladenære egenskaber. Målingen af vandindhold repræsenterer således ofte kun vandindholdet i de øverste 5-7 cm materiale, hvorfor måling på løs overflade eller i vandansamlinger bør undgås.

Af andre fejlkilder kan nævnes, at vandindholdsmålingen ikke er begrænset til at måle nedad, hvorfor brinholdigt materiale ved siden af eller over sonden vil blive medregnet. De nyere typer udstyr er dog indrettet så der kan korrigeres for denne indflydelse.

Af litteraturen fremgår, at følsomheden over for ændringer i objektets kemiske sammensætning er ringe for naturlige jordarter. Først ved stort metalindhold, f.eks. okker eller iblanding af større mængder flyveaske forventes resultaterne at blive påvirket.

Spredningen på serier af isotopmålinger inden for et kontrolafsnit har ved afprøvning, se bilag 1-3, vist sig ikke at være større end spredningen på tilsvarende serier af sandefterfyldninger, hvorfor et stikprøveomfang på fra 5-10 målinger fortsat vil være tilstrækkeligt pr. kontrolafsnit.

4. GÆLDENDE KOMPRIMERINGSKRAV OG METODER

De oftest anvendte komprimeringskrav til ubundne materialer i Danmark er baseret på densitetsbestemmelse efter sandefterfyldningsmetoden vurderet i forhold til referenceværdier bestemt ved proctor forsøg (5).

Vurderingen er en statistisk analyse, idet komprimeringskravet forlanges opfyldt i mindst 90% af materialet og sandsynligheden for at godkende et komprimeringsarbejde, der ikke opfylder kravet ikke må overstige 25%.

De talmæssige komprimeringskrav og referenceværdier fremgår af nedenstående skema, fig. 1.

TALMÆSSIGE KOMPRIMERINGSKRAV						
Lodret afstand under færdig vejoverflade	Over 2m		Mindre eller lig med 2m samt omkring konstruktioner			
	Ler	Sand	Ler	Sand	Bund-sikring	Stabilt grus
K% Standard Proctor	88	90	92	94	94	-
K% Mod. Proctor	-	-	-	-	-	94

K = krævet karakteristisk værdi (10% fraktil).

Fig. 1. Gældende komprimeringskrav.
Current demands on compaction.

Kontrolreglen til eftervisning af kravets opfyldelse består i at:

$$\bar{x} - k \cdot s \geq K$$

hvor \bar{x} er middeltallet for stikprøven, s er spredningen og k er en faktor, der fremgår af nedenstående tabel, fig. 2.

n	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	40	50
k	1,96	1,86	1,79	1,74	1,70	1,67	1,58	1,53	1,50	1,47	1,44	1,43

Fig. 2. Faktoren k som funktion af stikprøvetallet n .
Factor k as a function of number of test samples n .

En mangel ved kravene er, at de kun kan formuleres for materialer med begrænset indhold (max. 25%) af korn større end 16 mm. Dette skyldes ikke sandefterfyldningsmetoden, men at proctorforsøget kun kan udføres på materiale mindre end 16 mm, og at de matematiske korrektionsformler (5) ikke bør anvendes ved mere end 25% indhold af korn større end 16 mm. Ved sådanne materialer må tørdensiteten fra sandefterfyldningsforsøgene vurderes i forhold til markproctorresultater (6) eller en referenceværdi bestemt ved vibrationsindstampning af totalmateriale (7).

5. FORMULERING AF KRAV VED ISOTOPKONTROL

Målsætningen for formulering af krav ved isotopkontrol må være, at der i middel ikke sker en stramning af de gældende komprimeringskrav, idet disse i praksis har vist sig at være tilstrækkelige.

Da de gældende krav er formuleret statistisk som krav til en "karakteristisk værdi", den nedre 10% fraktil, skal man ved kravformuleringen sikre, at denne værdi i middel er identisk og altså ikke nødvendigvis at middeltallet ved målingerne er identiske.

Denne omsætning af kravene må således ske på basis af en praktisk afprøvning.

Statens Vejlaboratorium har siden efteråret 1983 afprøvet isotopudstyr af typen Troxler 3411 B på en række kontrolafsnit (4) og har ligeledes modtaget sæt af kontrolresultater fra en række andre kontrolfirmaer, der har anskaffet tilsvarende udstyr.

Resultatet af afprøvningen der har omfattet stabilgrus, bundsikringssand og moræner fremgår oversigtsmæssigt af bilag 1-3.

Af resultaterne ses, at spredningen, når der måles med de to metoder, er af samme størrelsesorden.

Derimod bestemmes gennemgående højere værdier for tørdensiteten og dermed komprimeringsgraderne ved sandefterfyldningsforsøg end ved isotopmåling.

Denne afvigelse er størst for grovkornet materiale som stabilgrus og mindre for bundsikringssand og moræner. Det synes også som om at metodeafvigelsen er større ved andre kontrolfirmaers målinger end ved målingerne udført af Statens Vejlaboratoriums laboranter.

På de følgende figurer 3-5 er de registrerede afvigelser indtegnet på sandsynlighedspapir, hvorved det skønsmæssigt kan vurderes, hvor ofte et valgt krav ved isotopkontrol vil medføre skærpelse eller lempelse af de gældende krav.

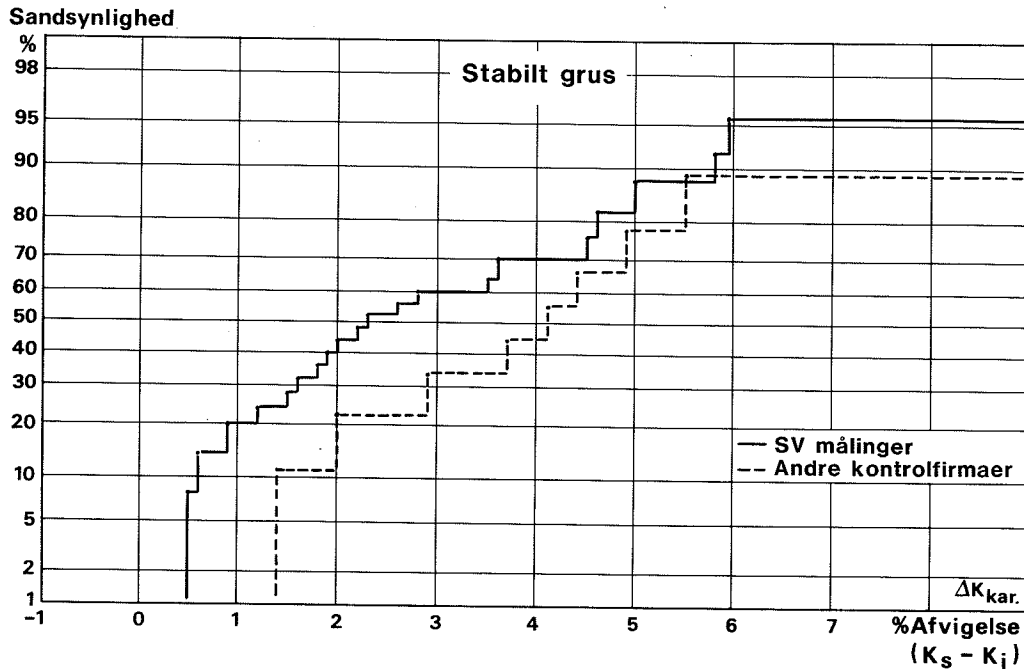


Fig. 3. Sandsynlighed af afvigelser i karakteristisk komprimeringsgrad.
Frequency of deviation of characteristic degree of compaction.

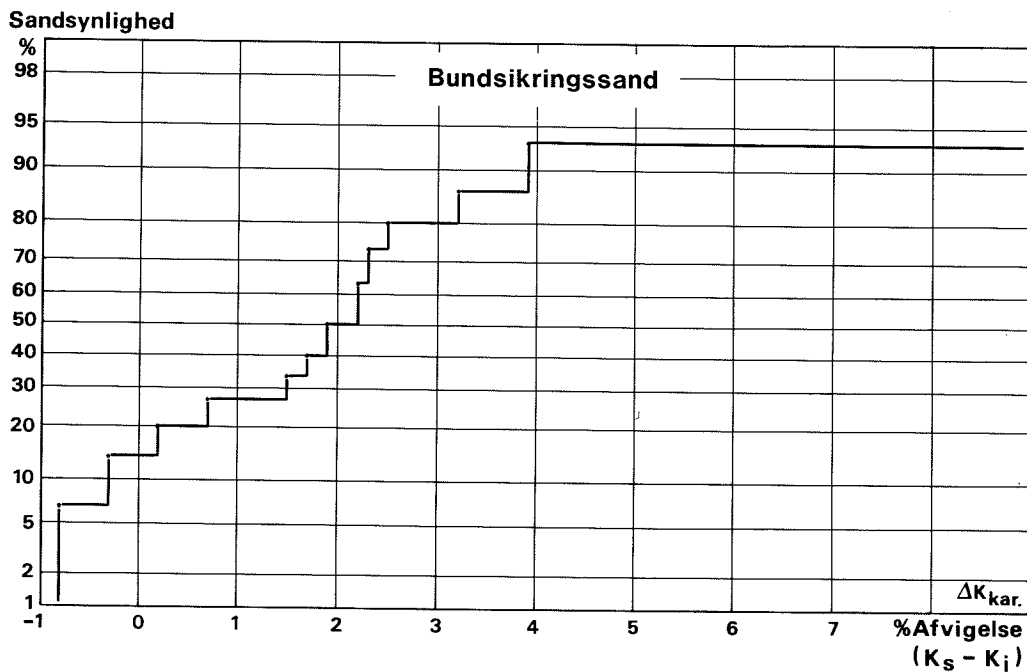


Fig. 4. Sandsynlighed af afvigelser i karakteristisk komprimeringsgrad.
Frequency of deviation of characteristic degree of compaction.

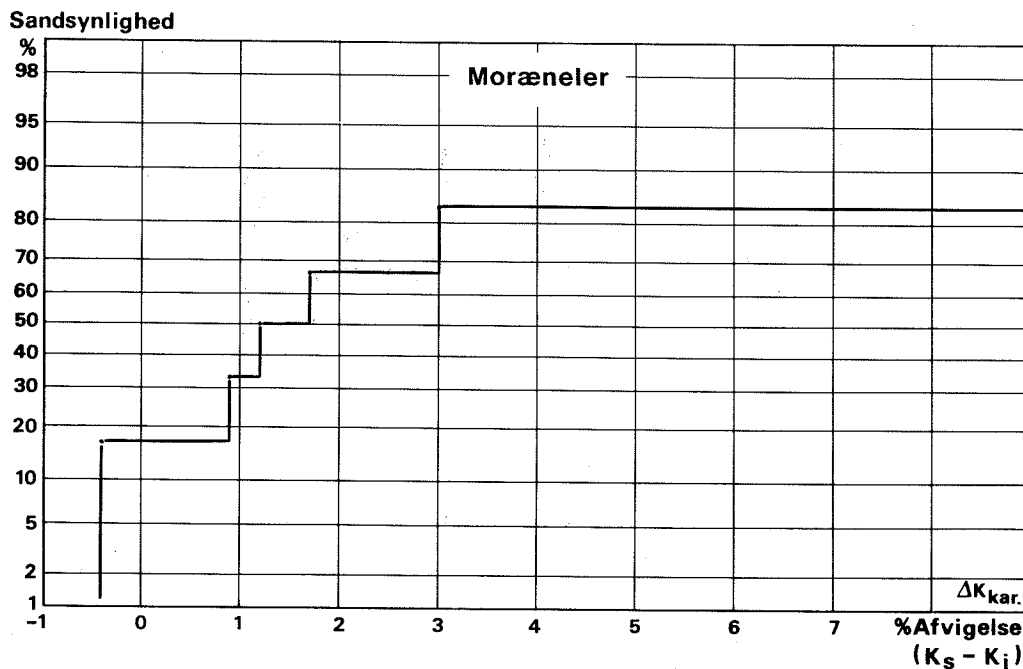


Fig. 5. Sandsynlighed af afvigelser i karakteristisk komprimeringsgrad.
Frequency of deviation of characteristic degree of compaction.

Af fig. 3 ses at vælges for stabilgrus et komprimeringskrav efter isotopmetoden der er 3% lavere end kravet efter sandefterfyldningsmetoden, vil det ud fra Statens Vejlaboratoriums målinger i 40% af tilfældene betyde en skærpelse og i 60% tilfælde betyde en lempelse, medens det ved andre kontrollantmålinger i 67% tilfælde vil betyde en skærpelse og i 33% tilfælde en lempelse.

Det kan for stabilgrus således anbefales, at nedsætte de gældende krav til komprimeringsgraden efter sandefterfyldningsmetoden med 3%, når der anvendes isotopkontrol.

En tilsvarende vurdering af resultaterne for bundsikringssand på fig. 4 viser ved et 2% lavere krav ved isotopmetoden i 50% af tilfældene en skærpelse og i 50% tilfælde en lempelse.

Endelig ses af fig. 5, at et tilsvarende 2% lavere krav ved isotopmetoden i 33% af tilfældene vil være en skærpelse og i 66% af tilfældene en lempelse.

Det kan for både bundsikringssand og moræneler anbefales at nedsætte de gældende krav til komprimeringsgraden efter sandefterfyldningsmetoden med 2%, når der anvendes isotopkontrol.

TALMÆSSIGE KOMPRIMERINGSKRAV								
Lodret afstand under færdig vejoverflade	Over 2m		Mindre eller lig med 2m samt omkring konstruktioner					
	Ler	Sand	Ler	Sand	Bundsikring med mindre end 25% over 16mm	Bundsikring med mere end 25% over 16mm	Stabilt grus med mindre end 25% over 16mm	Stabilt grus med mere end 25% over 16mm
K% Standard Proctor	86	88	90	92	92	-	-	-
K% Modificeret Proctor	-	-	-	-	-	-	91	-
K% Vibrationsindstamping (Fast lejring ASTM 2049)	-	-	-	-	92	92	91	91

K = krævet karakteristisk værdi (10% fraktil)

Fig. 6. Forslag til komprimeringskrav ved isotopkontrol.
Suggestion regarding compaction demands with isotope control.

Det bør bemærkes, at der i skemaet fig. 6 er medtaget krav med vibrationsindstamping efter ASTM 2049 som referenceværdi. Dette skyldes ønsket om også at kunne specificere talmæssige komprimeringskrav for grus med mere end 25% materiale større end 16 mm. I skemaet er værdierne for vibrationsindstamping ligestillet med værdierne for Standard Proctor på bundsikring og Modificeret Proctor på stabilt grus, hvilket er i overensstemmelse med Statens Vejlaboratoriums bedste skøn for øjeblikket. En undersøgelse af dette forhold kan forventes rapporteret senere på året.

Det samlede kompleks af komprimeringskrav afhængigt af målemetode, materiale og stenindhold fremgår derefter af nedenstående skema.

TALMÆSSIGE KOMPRIMERINGSKRAV, minimum for karakteristisk komprimeringsgrad (10% fraktil) i %								
Markforsøg		Lab. ref.	Sandefterfyldning			Isotopmåling		
			St. Proctor	Mod. Proctor	Vibrationsindst.	St. Proctor	Mod. Proctor	Vibrationsindst.
Råjord	Mere end 2m under vejoverfl.	Ler	88	-	-	86	-	-
		Sand	90	-	90	88	-	-
	Mindre end 2m under vejoverfl.	Ler	92	-	-	90	-	-
		Sand	94	-	94	92	-	-
Bundsikringslag (BL)			94	-	94	92	-	92
Stabilt grus (SGII)			-	94	94	-	91	91

Fig. 7. Sammenligning af statistiske (10% fraktil) komprimeringskrav.
Comparison of statistical demands on compaction (10% quantile).

De i fig. 7 angivne statistiske krav kan skønsmæssigt ækvivaleres til de i fig. 8 angivne krav til henholdsvis middelværdi og absolut minimum.

TALMESSIGE KOMPRIMERINGSKRAV, minimum for middelværdi og mindsteværdi i %														
Markforsøg		Lab. ref.	Sandoftefyldning						Isotopmåling					
			St. Proctor		Mod. Proctor		Vibrationsindst.		St. Proctor		Mod. Proctor		Vibrationsindst.	
Materiale			middel	mindst	middel	mindst	middel	mindst	middel	mindst	middel	mindst	middel	mindst
Råjord	Mere end 2m under vejoverfl.	Ler	94	91	-	-	-	-	92	89	-	-	-	-
		Sand	96	93	-	-	96	93	94	91	-	-	94	91
	Mindre end 2m under vejoverfl.	Ler	98	95	-	-	-	-	96	93	-	-	-	-
		Sand	100	97	-	-	100	97	98	95	-	-	98	95
Bundsafkringslag (BL)			100	97	-	-	100	97	98	95	-	-	98	95
Stabil grus (SGII)			-	-	98	95	98	95	-	-	95	92	95	92

Fig. 8. Sammenligning af simplificerede krav til middelværdi og absolut minimum.

Comparison of simplified demands for mean and absolute minimum.

6. LITTERATURLISTE

- (1) Statens Vejlaboratorium, Leveringsbetingelser og Prøvningsmetoder nr. 9: Forenklet komprimeringskontrol ved mindre jordarbejder, 1976.
- (2) Vibratory soil and rock fill compaction, Lars Forssblad, Dynapac Maskin AB, 1981.
- (3) Statens Vejlaboratorium, Leveringsbetingelser og Prøvningsmetoder nr. 16: Komprimeringskontrol efter isotopmetode, 1984.
- (4) Statens Vejlaboratorium, Notat 168, Afprøvning af isotopoverfladesonde Troxler 3411 B (under udarbejdelse).
- (5) Vejdirektoratet, Prøveforskrifter Vejgeotekniske Rutineforsøg 611, 1969.
- (6) Statens Vejlaboratorium, Leveringsbetingelser og Prøvningsmetoder nr. 5: Komprimeringskrav fastsat ved markforsøg, 1975.
- (7) ASTM D 2049. Relative density of cohesionless soils, 1969.
- (8) Statens Vejlaboratorium, Notat 169, Brugervejledning til isotopsonde Troxler 3411 B. Steen Leksø, 1984.
- (9) Statens Vejlaboratorium, Interne Notater 145. Komprimeringskontrol med isotopudstyr. Afprøvning af isotopoverfladesonde. 1983.

Sammenligning af sandefterfyldningsforsøg og isotopmålinger

Kontrolafsnit med stabilt grus

Statens Vejlaboratorium

Kontr. afs. nr.	Referencerværdi kg/m ³	Sandefterfyldning				Isotopmåling				Afvigelse ΔK %
		Tørdens. ρ _{mid.} kg/m ³	Spredn. %	Komp. K _{mid.} %	Komp. K _{kar.} %	Tørdens. ρ _{mid.} kg/m ³	Spredn. %	Komp. K _{mid.} %	Komp. K _{kar.} %	
5	2140	1895	2,4	88,6	84,3	1882	2,4	88,0	83,8	0,5
6	2128	1932	2,0	90,8	87,1	1887	1,2	88,7	86,5	0,6
7	2222	1993	4,0	89,7	82,7	2015	1,2	90,7	88,5	-5,8
11	2233	2181	1,6	97,7	94,7	2135	1,1	95,6	93,5	1,2
12	2233	2125	2,9	95,2	89,7	2099	2,6	94,0	89,1	0,6
13	2233	2153	2,8	96,4	91,0	2041	5,5	91,4	81,5	9,5
14	2233	2116	2,9	94,8	89,4	2063	2,8	92,4	87,2	2,2
15	2230	2156	0,5	96,7	95,7	2084	1,5	93,5	90,7	5,0
16	2230	2169	1,1	97,3	95,1	2085	1,6	93,5	90,6	4,5
17	2230	2163	1,6	97,0	94,0	2105	0,7	94,4	93,1	0,9
18	2230	2153	2,0	96,5	92,8	2092	1,8	93,8	90,5	2,3
19	2230	2164	1,6	97,1	94,0	2113	1,4	94,8	92,2	1,8
30	2224	2145	0,6	96,4	95,1	2113	0,8	95,0	93,5	1,6
31	2224	2112	0,5	94,9	94,0	1999	0,3	89,9	89,4	4,6
32	2261	2143	1,1	94,8	92,6	2071	0,4	91,6	90,7	1,9
34	2224	2199	0,3	98,9	98,2	2073	0,5	93,2	92,3	5,9
35	2224	1961	0,4	88,2	87,3	1856	1,1	83,4	81,5	5,8
36	2261	1864	3,3	82,4	76,6	1821	3,8	80,6	74,0	2,6
40	2261	1885	2,5	83,4	79,0	1861	3,4	82,3	76,2	2,8
41	2261	1947	0,7	86,1	84,8	1904	1,7	84,2	81,2	3,6
42	2224	2146	1,3	96,5	93,8	2061	1,7	92,7	89,2	4,6
43	2224	1898	1,2	85,3	83,1	1831	1,6	82,3	79,5	3,6
44	2224	2064	0,9	92,8	91,0	1985	0,9	89,2	87,5	3,5
46	2233	2175	1,8	97,4	93,6	2104	1,3	94,2	91,6	2,0
47	2100	1982	1,9	94,4	91,0	1951	1,8	92,9	89,5	1,5
Tot.			1,7				1,7			2,7

Andre kontrolfirmaer

Kontr. afs. nr.	Referencerværdi kg/m ³	Sandefterfyldning				Isotopmåling				Afvigelse ΔK %
		Tørdens. ρ _{mid.} kg/m ³	Spredn. %	Komp. K _{mid.} %	Komp. K _{kar.} %	Tørdens. ρ _{mid.} kg/m ³	Spredn. %	Komp. K _{mid.} %	Komp. K _{kar.} %	
48	2190	2256	0,9	103,0	101,1	2158	1,2	98,5	96,2	4,9
49	2190	2258	1,5	103,1	100,2	2164	1,2	98,8	96,5	3,7
50	2190	2216	1,7	101,2	97,9	2098	1,0	95,8	93,8	4,1
51	2190	2222	0,7	101,5	100,0	2140	0,3	97,7	97,1	2,9
52	2190	2162	0,4	98,7	98,0	2035	1,4	92,9	90,4	7,6
54	2310	2127	1,3	92,1	89,8	2049	0,5	88,7	87,8	2,0
55	2150	2195	2,1	102,1	98,0	2052	1,6	95,4	92,5	5,5
56	2100	2070	0,9	98,6	96,8	1965	0,7	93,6	92,4	4,4
57	2160	2036	2,0	94,3	90,6	1996	1,8	92,4	89,2	1,4
Tot.			1,3				1,1			4,1

Sammenligning af sandefterfyldningsforsøg og isotopmålinger

Kontrolafsnit med bundsikringsand

Statens Vejlaboratorium

Kontr. afs. nr.	Referencerværdi kg/m ³	Sandefterfyldning				Isotopmåling				Afvigelse ΔK %
		Tørdens. ρ _{mid.} kg/m ³	Spredn. %	Komp. K _{mid.} %	Komp. K _{kar.} %	Tørdens. ρ _{mid.} kg/m ³	Spredn. %	Komp. K _{mid.} %	Komp. K _{kar.} %	
8	1871	1916	1,5	102,4	99,4	1889	1,9	101,0	97,2	2,2
9	1846	1889	1,9	102,3	98,4	1868	1,8	101,2	97,7	0,7
10	1853	1948	2,6	105,1	99,7	1915	1,9	103,4	99,5	0,2
20	2008	1837	1,9	91,5	88,0	1783	1,5	88,8	86,1	1,9
21	2008	1822	2,8	90,7	85,7	1779	1,2	88,6	86,5	-0,8
22	2008	1848	1,3	92,0	89,6	1802	1,2	89,8	87,7	1,9
23	2008	1861	2,1	92,7	88,8	1816	0,7	90,4	89,1	-0,3
24	2008	1867	1,3	93,0	90,6	1817	0,8	90,5	89,1	1,5
25	2008	1830	0,9	91,2	89,5	1817	1,8	90,5	87,3	2,2
26	2008	1865	0,7	92,9	91,6	1822	0,9	90,7	89,1	2,5
27	2008	1826	2,0	90,9	87,4	1805	2,2	89,9	85,7	1,7
28	2008	1720	1,1	85,7	83,9	1713	2,8	85,3	80,7	3,2
37	1892	1926	0,7	101,8	100,3	1860	2,3	98,3	93,4	6,9
38	1892	1843	1,1	97,4	95,1	1793	1,0	94,7	92,8	2,3
39	1892	1777	1,9	93,9	90,2	1703	1,9	90,0	86,3	3,9
Tot.			1,6				1,6			2,0

Andre kontrolfirmaer

Kontr. afs. nr.	Referencerværdi kg/m ³	Sandefterfyldning				Isotopmåling				Afvigelse ΔK %
		Tørdens. ρ _{mid.} kg/m ³	Spredn. %	Komp. K _{mid.} %	Komp. K _{kar.} %	Tørdens. ρ _{mid.} kg/m ³	Spredn. %	Komp. K _{mid.} %	Komp. K _{kar.} %	
53	1751	1795	0,4	102,5	101,6	1777	1,0	101,5	99,5	2,1

