

Packning av jord- och stenmaterial

Jan Hartlén
Bo S Malmberg



VARIA

**Statens geotekniska institut
Swedish Geotechnical Institute**



S-581 01 Linköping, Sweden
Tel. 013-11 51 00, Int +46 13 115100
Telefax 013-13 16 96, Int +46 13 131696

/Efter 1984/

PACKNING AV JORD- OCH STENMATERIAL

Jan Hartlén, SGI
Bo s Malmberg, LTH

1. Inledning

Packning för att stabilisera ett jordmaterial har utförts under flera tusen år. De olika principer som används vid packning framgår av fig 1.

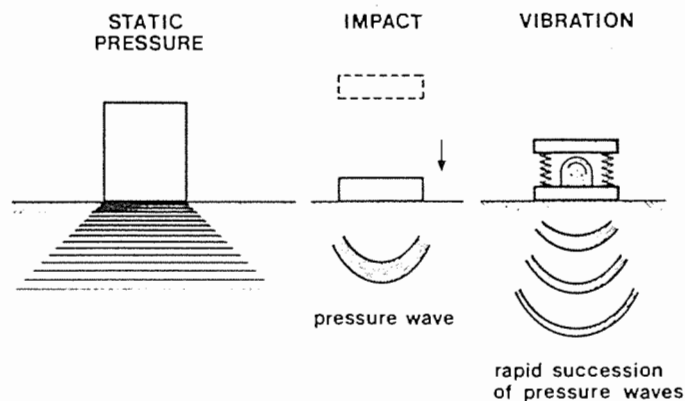


Fig 1. Olika principer för packning av jord.

Packning innebär att jorden pressas ihop, d v s att porvolymen minskar. Det är i detta sammanhang av stor betydelse om jorden är fri - dränerande eller tät. En våt och tät jord kan exvis ej packas samman av en vibrovält. Under senare tid har packning fått ökad betydelse genom att ny teknik utvecklats och nya utrustningar tagits fram. Exempel härpå är

- tunga och vibrerande vältar
- fallviktspackning
- packning med vibrovinge
- sprängpackning

Detta har samtidigt medfört att fler jordtyper kan användas:

- grovkornig sprängsten
- grovkornig friktionsjord (grus och sand)
- finkornig jord (silt och lera)

samt att

- naturlig jord och inspolad jord kan djuppackas.

Genom att så olika jordtyper nu användes måste också nya kontrollmetoder sökas och måste arbetet i vissa fall anpassas till väderleken.

2. Jords packbarhet

2.1 Allmänt

För att bestämma ett materials packbarhet utförs normalt inpackningsförsök i laboratoriet. Det finns olika metoder att välja mellan. Metoderna finns utförligt beskrivna i Laboratoriekommitténs anvisningar "Packningsegenskaper". Normalt utförs i Sverige tung laboratoriestampning, fig 2.

Automatisk utrustning används ofta idag. Vid tung laboratoriestampning väger fallvikten 4,5 kg och är fallhöjden 0,45 m. Vid försöket frånsiktas material större än 20 mm. Jorden fylls i 5 lager som vardera packas med 25 stötar.

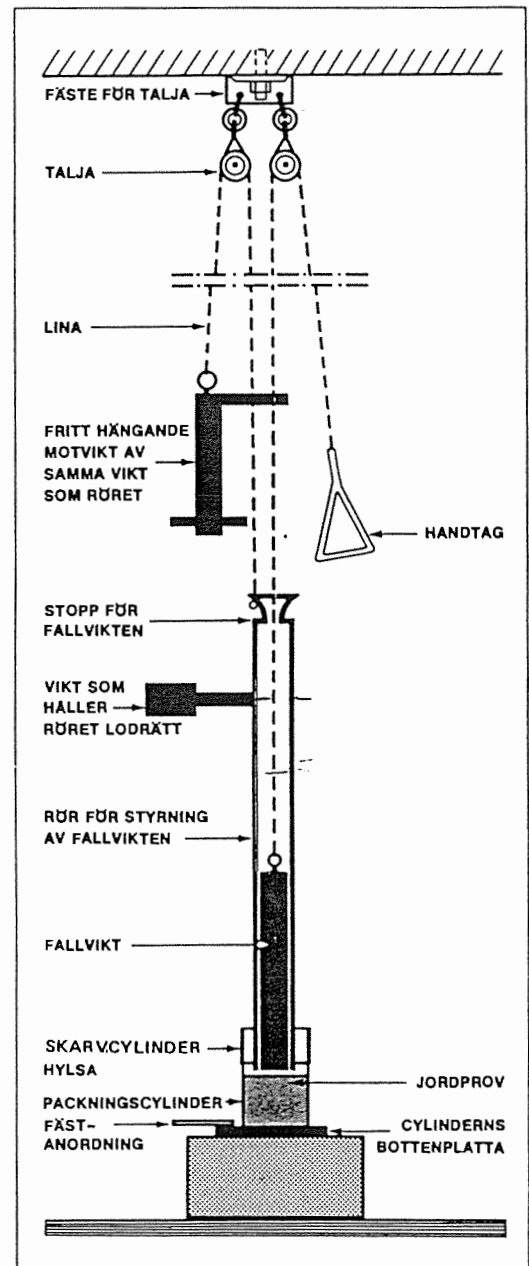


Fig 2. Laboriestamp för tung och lätt stampning med fallvikt i rör. Fästningar i taket och motvikter.

Materialet inpackas vid olika vattenkvoter. Beroende på vattenkvoten erhålls olika torrdensitet. När ett antal försök utförts kan man rita en packningskurva. Man finner då, att torrdensiteten blir störst vid en viss vattenkvot. Denna vattenkvot kallas optimal vattenkvot. Figur 3 återger typiska packningskurvor.

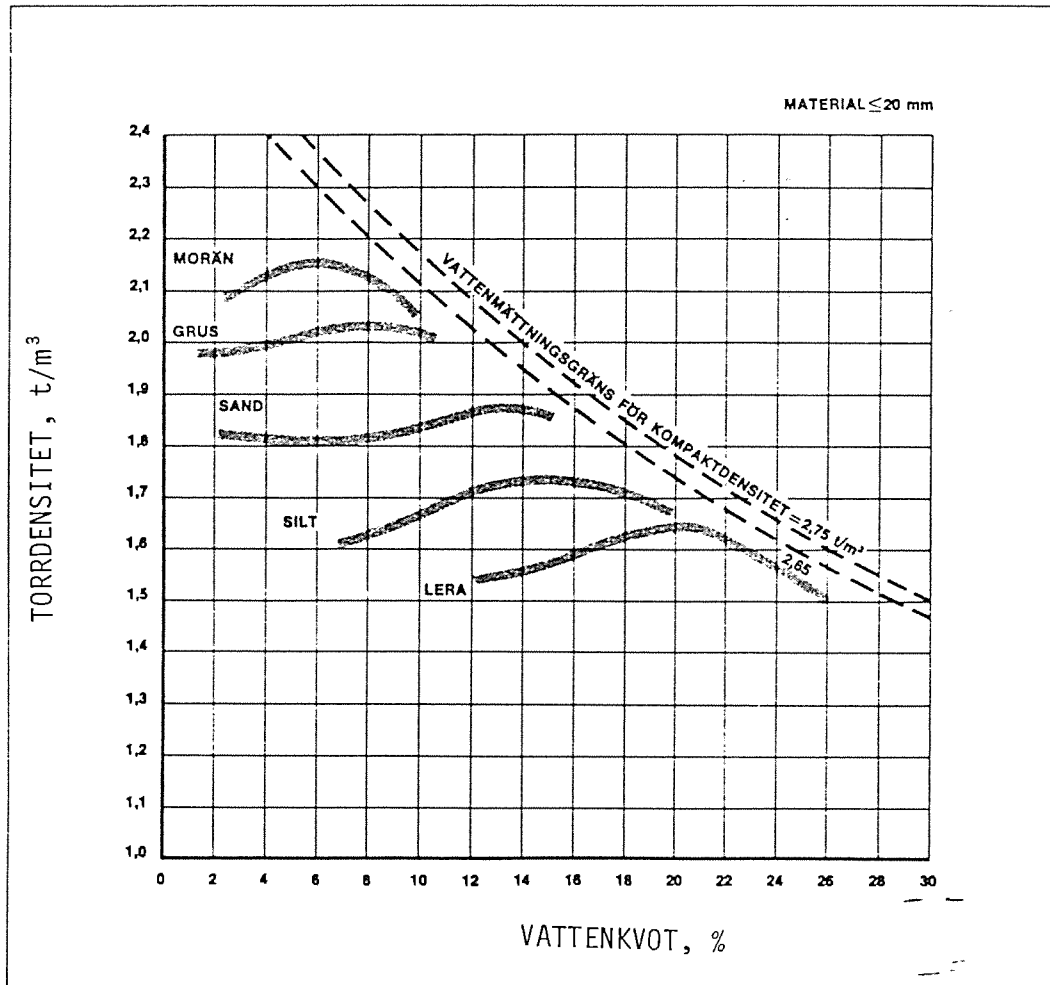


Fig 3. Typiska packningskurvor för olika jordarter vid tung stampning.

Orsaken till att torrdensiteten beror av vattenkvoten förklaras enklast för ett fridränerande material som sand. Vid låga vattenkvoter verkar kapillärspänningar mellan kornen som ökar materialets hållfasthet. Detta motverkar att kornen omlagras. Med ökande vattenkvot minskar kapillärspänningarna samtidigt som vattnet verkar som ett smörjmedel och lagringen blir tätare (torrdensiteten ökar). Över optimal vattenkvot befinner man sig nära vattenmättnad och därmed är det svårare att pressa samman jorden.

Fig 4 visar hur packningsarbetet påverkar packningskurvan. Med ökande packningsarbete ökar maxtorrdensitet och minskar optimal vattenkvot.

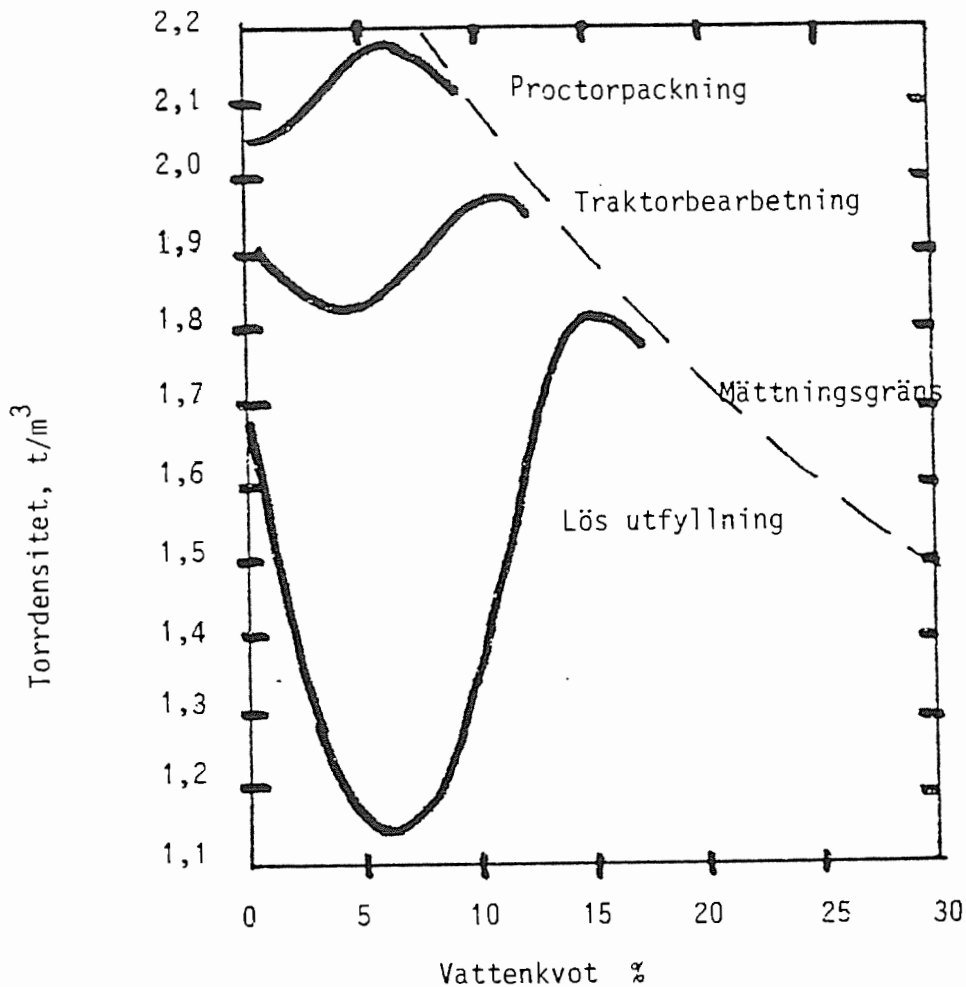


Fig 4. Packningskurvor för sand vid olika utläggning utföranden.

Med hänsyn till packbarheten kan jord- och sprängstensmaterial indelas i följande 4 grupper:

- I Sprängstensfyllning samt blockig och stenig friktionsjord (största kornstorlek 200 mm). Mindre än 5-10% finjordshalt.
- II Sand och grus. Mindre än 5-10% finjordshalt.
- III Silt, siltiga och leriga jordar. Mer än 5-10% finjordshalt.
- IV Lera. Mer än 15% lerhalt.

Grupp I och II utgörs av fridränerande material. Dessa material är relativt enkla att packa. En mindre andel finjord ($d < 0,06$ mm) kan accepteras, exvis max 10% enligt SBN 80.

Grupp III och IV har hög finjordshalt. Till denna grupp hör även de finkorniga moränerna. Packningsresultatet beror i hög grad på vattenkvoten i materialet. För att nå goda resultat måste vattenkvoten ligga nära optimal vattenkvot. Om massorna är torrare får de så hög hållfasthet att de ej packas samman och om de är våta fås ingen packningseffekt, snarare finns risken att man efter några överfarter ej längre kan ta sig fram med maskiner.

2.2 Packning av sprängsten

Sprängstensfyllningar uppbyggda genom skiktvis utbredning av sprängsten erhåller en avsevärt lägre kompressibilitet än om massorna ändtippats från stor höjd. Vid ändtippning från stor höjd tenderar massorna att separera, vilket ger en fyllning vars nedre del består av grova fraktioner med mycket hålrum medan den övre delen blir rik på finmaterial.

En traktorutbredd fyllning får ofta så goda egenskaper att endast det övre skiktet behöver packas med speciellt packningsredskap. Detta har sin förklaring i att, samtidigt som traktorn skjuter massorna framför sig med bladet, så packas utlagda massor av larverna. Framför bladet beskrivs massorna en roterande rörelse, vilken motverkar separation samtidigt som skarpa kanter på sprängstenen slås bort. Speciellt god packningseffekt av traktorn erhålles om banden är kamförsedda. Då erhålles, förutom det vertikala kontaktrycket, en horisontell skjuvspänning, vilken bidrar till att ge en tätare lagring.

Försök har visat att en sprängstensfyllning utlagd i torrhet får sättningar vid vattenbegjutning. Anledningen till detta tycks vara att nedkrossningen av kontaktpunkterna underlättas när vatten finns närvarande. Dessutom kan en del finmaterial försvinna, som bidragit genom falsk kohesion till en större hållfasthet i kontaktpunkterna.

Av ovan sagda inses att packning av sprängsten bör ske under riklig vattenbegjutning. Resultat av utförda försök indikerar att den tid som förflyter mellan vattenbegjutningens början och packningen har betydelse. Vattenbegjutningen bör ha påbörjats minst 10 min före packningen.

Om mjuka berg packas, såsom kalksten, är behovet av vattenbegjutning ännu större än för kristallina berg.

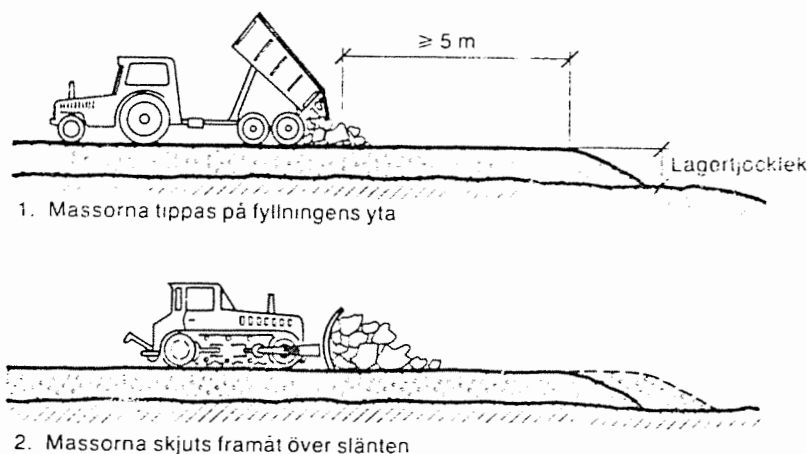


Fig 5. Traktorutbredning enligt Mark AMA.

Vibrationsvältarmed 5-10 t vikt ger god packning av sprängstensfyllningar med upp till 1-2 m tjocklek. Vibrationsvälten bör få arbeta direkt på stenfyllningens överyta, alltså utan toppskikt av fin-kornigare material. Maximidiametern hos block och stenar bör ej överstiga 2/3 av skikttjockleken.

2.3 Packning av friktionsjord

Denna materialtyp motsvarar grupp II ovan. Packningskurvan för friktionsjordarter uppvisar ofta två maxima. Vid helt torrt material erhålles en relativt god packning. Samma är förhållandet vid helt vattenmättat material. Däremellan blir packningsresultatet dock sämre beroende på de kapillära spänningarna. I praktiken innebär detta att dessa jordar skall vattenbegjutas vid packning, eftersom de naturligt lagrade jordarna i Sverige sällan är helt torra.

Grovkorniga friktionsjordar packas vanligen med tunga vibrationsvältar. Inte sällan blir då packningen i den övre halvmetern av fyllningen dålig. Detta har sin förklaring i de höga accelerationskrafter, i samspel med de små överlagringstrycken, som verkar nära ytan, vilket får de enskilda kornen att oscillera. För att motverka denna uppluckring av ytan bör packningen alltid avslutas med ett antal överfarer med avstängd vibrator.

Packning av jämnkornig finsand bereder ofta stora svårigheter med konventionella packningsredskap. Den bästa packningen av sådana jordar erhålles ofta enbart genom vattenbegjutning. Vattenmängden skall avpassas så att en fullständig vattenmättnad uppnås utan att fördenskull orsaka översvämning.

2.4 Packning av finkornig jord

Hit hör material III och IV enligt indelning ovan. Som finkornig jord räknas främst ler- och siltjordar men även moräner med så hög finkornhalt att denna har en signifikant inverkan på moränens permeabilitet (vattengenomsläpplighet) och hållfasthet.

Till skillnad från de grovkorniga jordarna uppvisar de finkorniga jordarnas packningskurva endast ett, men ett mycket väldefinierat, maximum. Detta maximum uppträder vid en (optimal) vattenkvot som är lägre än vad som motsvarar full vattenmättnad. Den optimala vattenkvoten för finkorniga jordar är ofta lägre än den naturliga, varför vattenbegjutning av dessa massor endast undantagsvis bör förekomma.

En annan avgörande skillnad mellan packad grov- respektive finkornig jord är att vattenkvoten vid inpackningstillfället har en stark inverkan på egenskaperna hos den finkorniga fyllningen. Detta har av Lambe förklarats vara beroende på lerpartiklarnas orientering, vilken blir olika på torra och våta sidan. På torra sidan (vid $w < w_{opt}$) behåller partiklarna en slumpmässig orientering medan de på våta sidan är orienterade med flaken vinkelräta mot den största huvudspänningen. Denna skillnad i struktur har visat sig ha stor betydelse för fyllningens permeabilitet, hållfasthet och kompressibilitet.

Inverkan av vattenkvoten vid packning har sammanfattats i nedanstående tabell 1.

Vattenkvotens stora betydelse för hållfastheten visas i fig 6 för en lermorän. R_D anger packningsgraden där

$$R_D = \frac{\rho_d}{\rho_{max}}$$

och ρ_d är uppmätt torrdensitet i fyllningen

ρ_{max} är max torrdensitet enligt tung laboratoriestampning

Fig 6 visar att optimal vattenkvot och därmed optimal packning ej återspeglas i resultaten. Figuren visar också det förhållandet att om ett material är torrt blir det svårt att slå sönder det och packa samman det till en homogen massa.

Tabell 1. Jämförelse mellan torr- och våtpackning av lera

Egenskap	Jämförelse
STRUKTUR	
Partikelarrangemang	Mer godtycklig på torra sidan.
Stabilitet	Torra sidans mer känslig för förändring.
PERMEABILITET	
Storlek	Torra sidan mer permeabel.
Bibehållande	Torra sidans permeabilitet reduceras mycket starkare vid strömning.
KOMPRESSIBILITET	
Storlek	Våta sidan mer kompressibel vid låga spänningar, torra sidan mer vid höga spänningar.
Tidsberoende	Torra sidan konsoliderar mycket snabbare.
HÅLLFASTHET	
Vid inpackad vattenhalt	Odränerad hållfasthet mycket större på torra sidan och dränerad hållfasthet något större på torra sidan.
Efter vattenmättnad	Odränerad något större på torra sidan om svällning förhindras medan våta sidans kan bli större om svällning tillåts. Dränerad lika eller något större på torra sidan.
Portryck vid brott	Störst på våta sidan.
Spännings/deformationsmodul	Torra sidans mycket större.

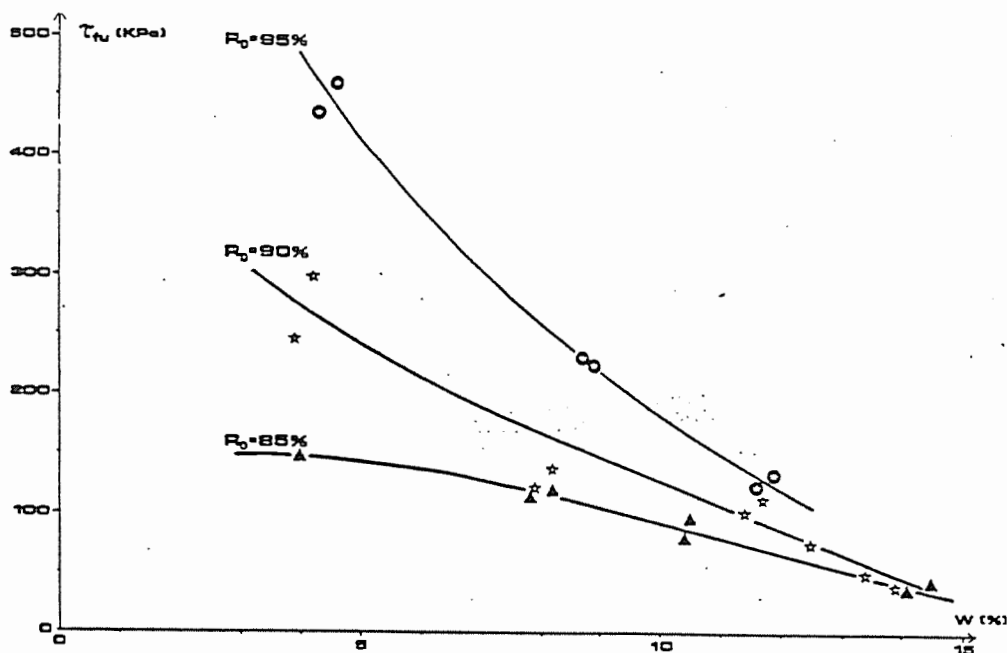


Fig 6. Enaxlig tryckhållfasthet hos packad lermorän som funktion av vattenkvot (w) och packningsgrad (R_D). (Andersson & Bjurek, 1977).

Vilket packningsredskap som väljes för packning av en finkornig jord är således beroende av lerhalt och vattenkvot. Vid packning på torra sidan är tung vibrerande vält att föredra så att de fasta jordklumparna ordenligt slås sönder. Trycket bör överstiga materialets skjuvhållfasthet minst 6 gånger. Vid packning på våta sidan användes gummihjuls- eller padfotvältar så att materialet knådas eller ältas samman. Vid packning på torra sidan är det mycket viktigt att tillräckligt många vältöverfarter göres, typ en för dåligt, på torra sidan, packad fyllning är mycket nederbörds känslig. Efter exvis en vintersäsong är en sådan fyllning avsevärt försämrad. Om packning sker på våta sidan med vibrerande vält bör å andra sidan packningsarbetet begränsas då många överfarter endast resulterar i att ett porvattentryck byggs upp i fyllningen som försämrar egenskaperna.

Man måste också beakta att finkorniga fyllningsmassor är tjälfarliga. Dessa massor kan därför ej användas under vintern.

3. Inverkan av nederbörd och våta massor

Det har i föregående avsnitt påpekats att finkorniga jordar är känsliga för vattenöverskott. Detta innebär att arbetena behöver stoppas vid nederbörd och att man därefter måste skrapa bort det uppblötta materialet eller låta det torka. Detta gör att det är svårt att planera arbetet. Ett materials känslighet för vatten kan indelas efter vattengenomsläppligheten (permeabilitetskoefficienten k)

om $k \leq 10^{-7}$ m/s är den relativt okänslig (leriga jordar)

om $10^{-7} < k < 5 \cdot 10^{-6}$ m/s mycket känslig (siltjord)

om $k > 5 \cdot 10^{-6}$ m/s okänslig p g a den snabba dräneringen (bl a sandjordar)

Massor som är våta (över optimum) och inte är fridränerande (silt- och lerjordar) kan genom packning inte göras torrare. Packningsresultatet blir lågt och höga vattentryck kan bli inbyggda. Undersökningar i England har visat att packning kan göras upp till en vattenkvot av

$$w \leq 1,2 w_p$$

Över denna vattenkvot kan inte heller maskiner ta sig fram utan stora svårigheter.

Vid lera med hög vattenkvot ($w > w_{opt} + 2\%$) är det oftast lämpligt att lägga av dränerande skikt. Detta gäller speciellt när man bygger upp höga vägbankar; jfr fig 7.

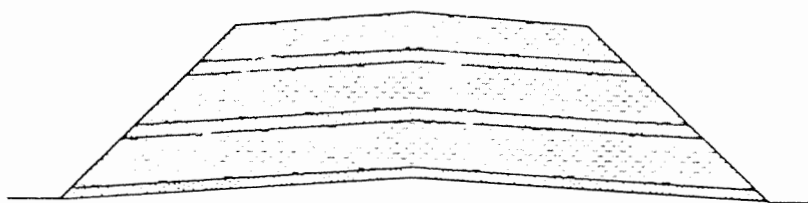


Fig 7. Uppbyggnad av lerbank med inbyggda sandskikt.

Ett normalt avstånd mellan sandskikten är 2,0 m. Om en konsolideringsgrad motsvarande 90% är tillräcklig, krävs för nämnda avstånd med $k = 10^{-9}$ m/s en liggtid av ca 20 dagar. Om skikten inte lades in, skulle erforderlig tid för en 6 m mäktig fyllning vara ca 180 dagar. Exempel i Malmö med uppfylldvåt moränlera har visat att fastheten ökat efter en liggtid på ett antal månader. För våta massor kan det ibland vara av intresse att blanda in kalk. Normalt innebär dock detta merarbete en så stor kostnadsökning att det blir ekonomiskt intressantare att byta ut materialet mot fridränerande jord.

4. Packning - utförande och utrustning

4.1 Allmänt

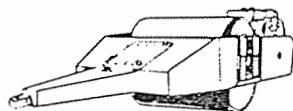
Fig 1 visar olika metoder för packning. För ytlig packning indelas maskinerna enligt följande tabell 2.

Tabell 2 Packningsredskap

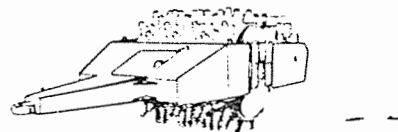
Handstamp	min	15 kg
Vibrationsstamp	"	70 "
Vibrationsplatta	"	50 "
	"	100 "
	"	200 "
	"	400 "
	"	600 "
Vibrerande envälsvält ¹⁾ , statisk linjelast	"	15 kN/m
	"	30 "
	"	45 "
	"	65 "
Vibrerande tandemvält ²⁾ , statisk linjelast	"	5 "
	"	10 "
	"	20 "
	"	30 "
Statisk trevälsvält, statisk linjelast	"	50 "
Gummihjulsvält, last/hjul	"	15 kN
	"	25 "
Bandtraktor	"	10 ton

1) Med padfottrumma, kan användas vid packning av jord med hög finjordshalt.

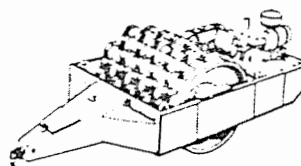
2) När packning görs med båda valsarna kan antalet överfarter reduceras.



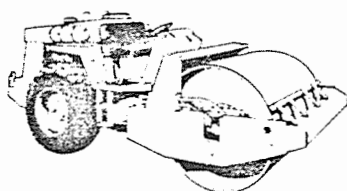
Dragen vibrovält



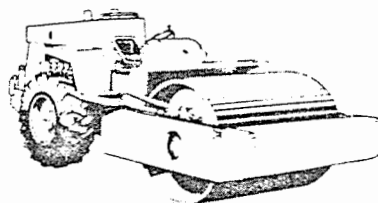
Dragen vibro-färfotsvält



Dragen vibro-padfotvält



Självgående vibrationsvält med drivande gummihjul



Tung självgående vibrationsvält med drivning på trumma och gummihjul

Fig 8. Olika välttyper

Ju större kohesionen är, desto större måste trycket vara för att säkerställa att massorna trycks samman. I sand och grus är kohesionen liten, varför erforderliga tryck under vibration endast behöver uppgå till 0,05 å 0,1 MPa. I lerjord bör trycket uppgå till 0,3 å 0,5 MPa. För fast lerjord måste massorna brytas sönder genom att använda en vibrerande padfotvält.

Ju tyngre välten är, desto större djupverkan erhålles. Samtidigt avtar djupverkan med ökande finjordshalt i jorden. Det senare beror på att antalet kontaktpunkter som suger upp packningsenergin ökar per djupmeter med ökande finjordshalt.

Parametrar av betydelse hos välten visas i tabell 3.

Tabell 3. Vältparametrar (enligt Forssblad, 1981)

Statisk vikt
Antal vibrerande valsar
Frekvens och amplitud
Hastighet
Valsdiameter

Statisk vikt

Djupeffekten är ungefär direkt proportionell mot vältvikten.

Antal valsar

Med två valsar kan antalet överfarter reduceras och kapaciteten ökar således. Effekten av en tandemvält med två vibrerande valsar motsvarar ca 80% av effekten av en statisk plus en vibrerande trumma.

Frekvens och amplitud

Effekten blir bäst vid en frekvens mellan 25 och 50 Hz (1500-3000 vibr/min). Inom detta intervall är inverkan samtidigt ej så uttalad, fig 9.

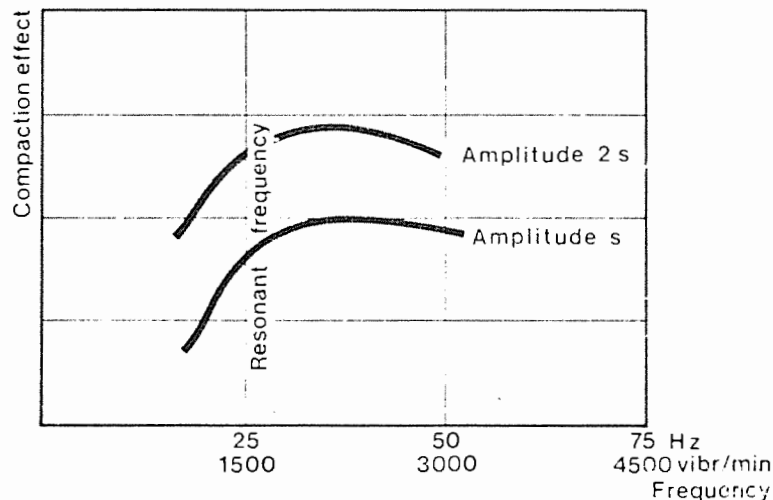


Fig 9. Förhållandet mellan packningseffekt, frekvens och amplitud (Forssblad, 1981).

För grovkorniga jordar, speciellt, fås en ökande packningseffekt med ökande amplitud. Ökande amplitud har också uttalad effekt för fast kohesionsjord. Amplituden väljs ofta till 1,5 å 2,0 mm vid packning av jord.

Hastighet

Packningsenergin är proportionell mot

$$\frac{\text{antal överfarter}}{\text{hastighet}}$$

Jfr med fig 10.

Detta innebär att om hastigheten fördubblas, måste antalet överfarter också fördubblas. Det har konstaterats att optimal hastighet ligger vid 3-6 km/tim. För det fall

- särskilt hög densitet eftersträvas
- jorden är svårpackad
- lagertjockleken är stor

bör hastigheten begränsas till 3-4 km/tim.

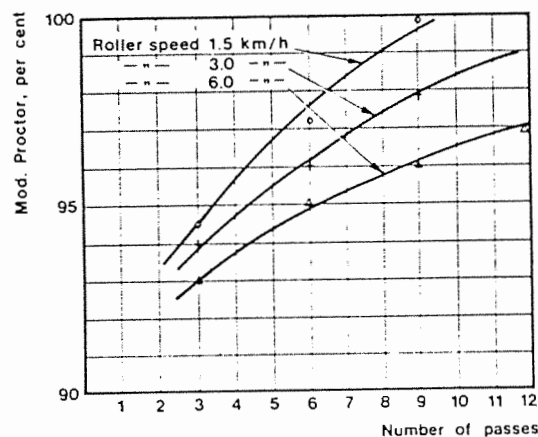


Fig 10. Förhållandet mellan packningsgrad och antal överfarter och välthastighet (Forssblad, 1981).

4.2 Materialkrav

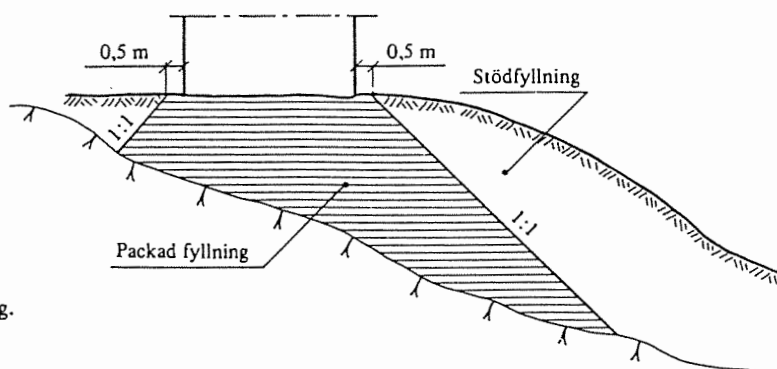
4.2.1 SBN 80

I SBN 80 behandlas i kap 23:234 materialkraven. I byggnormen accepteras endast friktionsjord med max 10% finjord och sprängsten av kristallint berg. I SBN 80 kap 23:412 behandlas utläggning och packning av friktionsjord och i kap 23-413 av sprängsten. Även kontrollkraven anges:

:234

Fyllning

Vid grundläggning på fyllning godtas att den tillåtna medeltryckpåkänningen beräknas med hjälp av formel 23:2332. Som förutsättning gäller att fyllningen packas inom det område som anges i figur 23:234. Fyllningens tjocklek förutsätts vara högst 6 m. Vidare gäller de förutsättningar som ges i :2341 och :2342.



Figur 23:234.
Packningens utsträckning.

:2341 **Fyllning av friktionsjord**

Särskilda förutsättningar:

- Värdet på koefficienten n och på $\sigma_m \max$ väljs enligt tabell 23:2332, varvid angivna värden för fast lagrat material används
- Fyllningens halt av jordmaterial med kornstorlek mindre än 0,074 mm får vara högst 10 % räknat på den del av materialet vars kornstorlek är mindre än 20 mm. Fyllningens största stenstorlek får uppgå till halva lagertjockleken, dock högst 200 mm
- Arbetsutförande enligt :4.

:2342 **Fyllning av sprängsten**

Särskilda förutsättningar:

- Koefficienten n i formel 23:2332 är 0,5 MPa/m oberoende av grundvattnenivån och grundläggningsdjupet. Grundpåkänningen begränsas dock till högst 0,5 MPa när fyllningens tjocklek är mindre än 3 m och till högst 0,35 MPa när fyllningens tjocklek ligger mellan 3 och 6 m
- Sprängstenen består av kristallin bergart (t ex granit och gnejs) med tillfredsställande beständighet mot vittring. Kraftigt glimmerbandade bergarter undviks. Fyllningen skall till största delen bestå av korn med storlek överstigande 0,2 m. Fyllningens halt av material med kornstorlek mindre än 0,074 mm får vara högst 10 %, räknat på den del av materialet vars kornstorlek är mindre än 20 mm. Största stenstorlek (stenens största längdmått) i fyllningen får uppgå till högst 2/3 av lagertjockleken
- Utgörs underlaget av silt, lera eller andra finjordsrika material utläggs ett 0,2 m tjockt tätningslager innan sprängstenen påförs. Som tätningslager godtas bl a samkross 0-65 mm
- Arbetsutförande enligt :4.

:41 **Exempel på godtaget arbetsutförande**

:411 **Grundläggning med plattor på sprängbotten**

I plan utförs sprängning, packning och tätning under hela byggnadsytan samt utsträcks till minst 0,5 m avstånd utanför grundkonstruktionen. Lössprängt berg schaktas bort till en nivå minst 0,1 m under grundläggningsnivån. Uppstickande berg och större block avsprängs till minst 0,1 m under grundläggningsnivån. Schaktbotten grovjusteras och tätas med sprängskärv eller krossmaterial. Packningen utförs därefter med minst tio överfarter med en traktordragen vibrationsvält vägande minst 3 ton. Ovanpå den packade ytan utläggs sprängskärv och krossmaterial till sådan tjocklek att ytan efter ytterligare packning med minst sex överfarter kommer att ligga i grundläggningsnivån. När riklig vattning utförs får antalet överfarter i första packningsomgången minska till sju. Vid risk för isbildning får vattenbegjutning inte utföras.

Fruset jordmaterial, snö eller is får inte förekomma i sprängmassorna. Sprängning får inte utföras i borrhål djupare än 0,8 m under grundläggningsnivån. För en rörgrav i omedelbar anslutning till grundkonstruktionen får dock sprängningen utsträckas till ett största djup av 0,3 m under den teoretiska rörgravsbotten, vilken inte får ligga lägre än 0,8 m under grundläggningsnivån.

:412

Grundläggning med plattor på fyllning av friktionsjord

Fyllningen läggs ut i lager med högst den tjocklek (efter packning) som anges i tabell 23:412 för vanligen förekommande packningsmaskiner. Varje lager packas under riklig vattenbegjutning med minst det antal överfarer som framgår av tabellen. Om kontroll av packningsresultatet enligt nedan utvisar att en tillfredsställande packningsgrad inte har uppnåtts, minskas lagertjockleken eller ökas antalet överfarer. När vattning inte kan utföras, t ex på grund av risk för isbildning, ökas packningsarbetet i den omfattning som fordras för att packningsresultatet skall bli tillfredsställande.

Packningsresultatet skall kontrolleras fortlöpande. Omfattningen av kontrollen avpassas efter risken för ojämna sättningar. Den görs sålunda mer omfattande om fyllningen har stor varierande mäktighet och är utsatt för hög last än om motsatta förhållanden råder. Skärpt kontroll tillämpas också för en fyllning som utförs under ogynnsamma förutsättningar, t ex vid risk för tjälning. För en fyllning med en total tjocklek av högst 1 m och som utförs vid en tidpunkt när risk för tjälning inte föreligger eller om fyllningen endast kommer att utsättas för liten last, t ex av ett småhus, är det tillräckligt med utförandekontroll.

Metoder redovisade i Byggeforskningens informationsblad B2:1971 "Svenska geotekniska föreningens laboratorieanvisningar" godtas för en fortlöpande kontroll av packningsresultatet. Den packade fyllningens torrdensitet undersöks i ett efter förhållandena avpassat antal punkter i varje utlagt lager av fyllningen. Det i fält uppnådda packningsresultatet anses tillfredsställande om packningsgraden är minst 90 %.

Tabell 23:412. Exempel på största lagertjocklek och minsta antal överfarer för olika packningsmaskiner vid packning av friktionsjord.

Packningsmaskin	Minsta antal överfarer	Största lagertjocklek vid utfyllning (efter packning), m
Statisk trevalsvält		
statisk linjelast minst 50 kN/m	6	0,25
Bandtraktor, minst 10 ton	6	0,25
Traktordragen vibrationsvält,		
minst 3 ton	6	0,40
minst 5 ton	6	0,55
Vibrerande tandenvält		
statisk linjelast minst 10 kN/m	6 ^b	0,20
statisk linjelast minst 20 kN/m	6 ^b	0,30
statisk linjelast minst 30 kN/m	6 ^b	0,45
Vibratorplatta		
minst 100 kg ^a	4	0,20
minst 400 kg	4	0,35
Vibratorstamp, minst 50 kg ^a	3	0,30

^a Används endast som komplement till större packningsmaskiner och vid mycket små packningsarbeten.

^b Vid vibrering på båda valsarna kan antalet överfarer minskas till 4.

:413 **Grundläggning med plattor på fyllning av sprängsten**

Sprängstenen bredds ut med bandtraktor. Ett traktoruttbrett lager packas med minst 10 överfarter med traktordragen vibrationsvält. Vid vältvikt 3 ton får lagertjockleken uppgå till 0,7 m efter packning, vid 5 ton till 1,0 m och vid 8 ton till 1,5 m. När riklig vattenbegjutning utförs får antalet överfarter minskas till sju. Vid risk för isbildning får vattenbegjutning inte utföras.

Efter packning avjämnas, tätas och justeras sprängstensfyllningens översta lager med sprängskärv och krossmaterial. Därefter utförs ytterligare sex överfarter med välden. Under denna packning påförs ytterligare sprängskärv och krossmaterial, så att ytan efter avslutad packning kommer att ligga på grundläggningsnivån.

4.2.2 Mark AMA 83

I Mark AMA 83 indelas jordmaterialet i olika grupper enligt tabell C/1 för grundläggning, tabell C/2 för hårdjord yta och tabell C/3 för vegetationsytor. I tabell C/4 återges packningsklasser. Klass 1 motsvarar SBN 80:s normalfall och klass 2 fallet lätta byggnader alt fyllningsmäktigheter under 1,0 m. Nedan anges endast materialindelning enligt tabell C/1.

C FYLLNINGAR, FÖRSTÄRKNINGAR, PÅLVERK M M

Fyllningsmaterial

Fyllning skall, beroende på ändamål, utföras med material enligt tabell

C 1 Fyllningsmaterial för grundläggning m m.

C 2 Fyllningsmaterial för hårdjord yta.

C 3 Fyllningsmaterial för vegetationsytor.

Tabell C 1. Fyllningsmaterial för grundläggning m m

Grupp	Materialtyper	Fördringar Halt (%)			Exempel
		0-10	0-5	0	
		0,06	20	0,002	20 Organ mate- rial
1	Bergmaterial av hårda och hällfasta bergarter	0-10	0-5	0	Sprängsten av granit och glimmerfattig gnejs
2	Stenmoräner Grovkorniga moräner Grovjord Krossmaterial	0-10	0-5	0	Sandig, grusig sten- morän Sandig grusmorän Grus, sand, singel Makadam
3a	Blandkorniga moräner	-	-	0	Siltig morän
3b	Finkorniga moräner Finjord	-	-	0	Sandig siltmorän Silt, lera
4	Lätta material	-	-	0	Lättklinker, slagg

Nedan återges allmänna krav på fyllning och packning enligt Mark AMA.

C Fyllningar, förstärkningar, pälverk m m

Fyllning och packning

Fyllning med naturmaterial som skall packas skall utföras med mellangraderat eller månggraderat material.

Till fyllning som skall packas får inte användas lös lera eller flytbenägen jord med för packning olämplig vattenkvot.

Fyllning och packning skall utföras enligt klass 1, 2, 3 eller 4, tabell C/4, eller enligt särskild föreskrift.

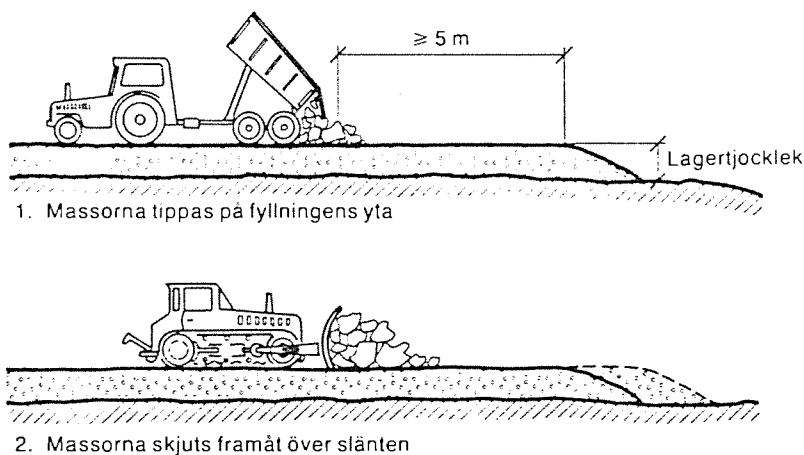
Fyllnings- och packningsklasser

Tabell C 4

Klass	Utförande av fyllning och packning
1	I lager till särskilt föreskrivet resultat
2	I lager enligt tabell C/5
3	Traktorutbredning
4	Fyllning utan krav på packning

Andra packningsmaskiner, annat antal överfarter och annan lagertjocklek än vad som anges i tabell C/5 kan tillåtas efter av beställaren godkänd provning av packningsresultatet.

Traktorutbredning enligt klass 3 skall utföras med traktorns storlek anpassad till tippningsförfarande, massornas sammansättning och kornstorlek samt lagertjockleken. Traktorutbredning av sprängsten skall utföras med 10–30 tons bandtraktor och 0,5–2,0 m lagertjocklek, enligt figur C/1.



Figur C/1. Traktorutbredning.

Lagertjocklekar, överfarter

Tabell C/5. Största lagertjocklek i m efter packning och minsta antal överfarter per lager vid packning enligt klass 2, tabell C/4

Packningsredskap	Minsta antal överfarter	Material enligt tabell C/1 och C/2, största lagertjocklek (m) efter packning			
		1	2	3a	3b
		Fa, Ga	A, B	C, D2	D1
Handstamp, min 15 kg	3	–	0,15	0,10	0,10
Vibratorstamp, min 70 kg	3	–	0,30	0,25	0,20
Vibratorplatta, min 50 kg	4	–	0,10	–	–
min 100 kg	4	–	0,15	0,10	–
min 200 kg	4	–	0,20	0,15	0,10
min 400 kg	4	0,40	0,30	0,25	0,15
min 600 kg	4	0,60	0,40	0,30	0,20
Vibrerande envalsvält, statisk linjelast, ¹					
min 15 kN/m	6	–	0,35	0,25	0,20
min 30 kN/m	6	1,0	0,60	0,50	0,30
min 45 kN/m	6	1,5	1,0	0,75	0,40
min 65 kN/m	6	2,0	1,5	1,10	0,60
Vibrerande tandemvält, statisk linjelast, ²					
min 5 kN/m	6	–	0,15	0,10	–
min 10 kN/m	6	–	0,25	0,20	0,15
min 20 kN/m	6	–	0,35	0,30	0,20
min 30 kN/m	6	–	0,50	0,40	0,30
Statisk trevalsvält, statisk linjelast, min 50 kN/m	6	–	0,25	0,20	0,20
Gummihjulsvält, last hjul					
min 15 kN	6	–	0,20	0,20	0,20
min 25 kN	6	–	0,30	0,25	0,25
Bandtraktor, min 10 ton	6	–	0,25	0,20	0,20

¹ Vibrerande envalsvält med padfottrumma kan användas på fyllningsmaterial med hög firjordshalt, t ex silt.

² När packning utförs med vibrering på båda valsarna kan antalet överfarter minskas till fyra.

C FYLLNINGAR, FÖRSTÄRKNINGAR, PÅLVERK M M

Packning över ledning

Vid packning av fyllning över ledning skall fyllningen ha sådan tjocklek med hänsyn till aktuell packningsmaskin att skada inte uppstår. I tabell C/6 angivna värden får underskridas endast om det, innan packningsarbetet utförs, visas att så kan ske utan risk för skada.

För packning kring och närmast över rör rekommenderas vibratorstamp 70 kg, vibratorplattor 50–400 kg och vibrerande tandemvält med statisk linjelast 5 kN/m.

Tabell C/6. Minsta lagertjocklek över rörledning och över elledning med skydd av rör eller kabelblock o d vid packning¹

Packningsmaskin		Minsta lagertjocklek efter packning (m)
Handstamp	15 kg	0,15
Vibratorstamp	70 kg	0,25
Vibratorplatta	50 kg	0,10
Vibratorplatta	100 kg	0,10
Vibratorplatta	200 kg	0,15
Vibratorplatta	400 kg	0,25
Vibratorplatta	600 kg	0,40
Vibrerande envalsvält, statisk linjelast	15 kN/m	0,50
	30 kN/m	1,0
	45 kN/m	1,5
	65 kN/m	2,0
Vibrerande tandemvält, statisk linjelast	5 kN/m	0,15
	10 kN/m	0,35
	20 kN/m	0,50
	30 kN/m	0,70
Statisk trevalsvält, statisk linjelast	50 kN/m	0,80
Gummihjulsvält, last/hjul	15 kN	0,50
	25 kN	0,80
Bandtraktor	10 ton	0,50

¹ Vid andra laster än i tabellen angivna bestäms lagertjocklek genom interpolering.

Nedan ges exempel på hur Mark AMA 83 ställer krav på fallet fyllning för grundläggning. Viktigt att notera att fallet finkornig jord tagits bort i senaste Mark AMA, men behandlas i RA 83. Det krävs en speciell beskrivning för att använda finkornig jord. Flera kommuner har utarbetat en praxis.

C1 Fyllningar för hus, hårdgjord yta m m

Fyllning skall ha homogen struktur utan exempelvis lokal anhopning av sten.

Fyllning och packning med material ur grupp 3, tabell C/1 och ur grupp C och D, tabell C/2 skall utföras så att vatten kan rinna av från ytan. Lagren skall packas snarast efter utläggning.

Fyllning kring träd som enligt handlingarna skall bevaras skall utföras enligt typritning C1:1 och C1:2. Före utläggning av luftförande fyllning av sten, skärv, makadam eller singel skall underlaget luckras till minst 0,2 m djup inom ett område motsvarande minst trädkronans diameter.

Där ledning skall läggas i fyllning, skall fyllningen vara utförd till underkant av överbyggnad eller dränlager eller till minst 1,0 m över översta ledningshjässa före schaktning av ledningsgrav.

C1.1 Fyllning för husgrund

Underlag för fyllning får inte vara fruset. Snö på underlaget skall tas bort.

Snö på utlagda fyllningsmassor skall tas bort innan fyllning och packning fortsätter.

Om fyllning eller underlag har tjälat efter utförd packning, skall detta anmälas till beställaren för beslut om åtgärd, t ex efterpackning. Före efterpackning eller annan åtgärd skall det kontrolleras att tjäle inte finns kvar i fyllningsmassorna eller i underlaget.

C1.11 Fyllning för grundläggning av hus

Vid fyllning och packning i lager enligt tabell C 5 skall riklig vattenbegjutning utföras. När lufttemperaturen är lägre än 0 °C, skall dock fyllning och packning utföras utan vattenbegjutning.

C1.111 Fyllning med sprängsten för grundläggning av hus - -

Fyllning skall utföras med material ur grupp 1, tabell C/1.

Största sten- eller blockstorlek får vara högst 2/3 av lagertjockleken efter packning.

Fyllningsmaterial skall bredas ut med traktor och packas enligt klass 2, tabell C/4. När vattenbegjutning inte utförs, skall antalet överfarer ökas till minst sex för vibratorplatta och minst tio för vibrerande envälsvalt.

C1.112 Fyllning med grovkornig jord för grundläggning av hus

Fyllning skall utföras med material ur grupp 2, tabell C/1.

Största stenstorlek får vara halva lagertjockleken, dock högst 200 mm.

Fyllning och packning skall utföras enligt klass 1, tabell C/4.

När lufttemperaturen är lägre än 0 °C, skall fyllningsmaterial ha en temperatur över +1 °C under packningen och därefter.

C1.113 Fyllning med krossmaterial för grundläggning av hus

Fyllning skall utföras med krossmaterial 25–65 mm med högst 5 % material mindre än 2 mm. Krossmaterialet skall bestå av hårda och hållfasta bergarter med god beständighet mot vittring. Krossytgraden skall vara minst 20:40.

Fyllningsmaterial skall läggas ut i lager och packas med redskap som föreskrivs för material ur grupp 1, tabell C/5. Största lagertjocklek får vara hälften av den i tabell C/5 angivna för material ur grupp 1. Antalet överfarer skall vara minst tio eller, om riklig vattenbegjutning kan utföras utan risk för frusning, minst sex.

4.2.3 BYA 84

Vägverket anger i BYA 84 hur packning skall utföras för

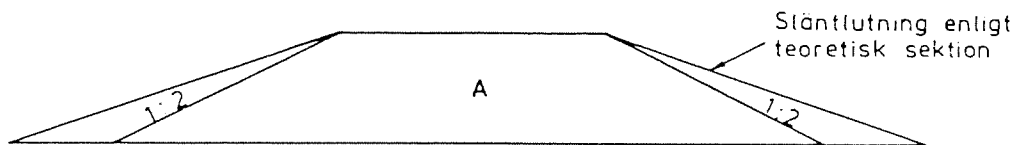
- ⊙ väg
- ⊙ rörledning och trumma
- ⊙ mot bro eller brostöd
- ⊙ under brostöd

För fyllning för väg anges

.02 Fyllning för väg

Fyllningsmaterial inom med A markerad zon i figur 4:05-1 skall vara fritt från material E.

Fyllningsmaterial inom med A markerad zon bör om möjligt vara fritt från tjälklumpar eftersom dessa medför större sättningar och ökade justeringar.



Figur 4:05-1 Zon med krav på fyllnadsmassor

Anhopningar av sten och block som ligger närmare vägyta än 3 m skall utbredas.

Från 1.5 m under vägyta och uppåt får ej gränsyta mellan jord och sprängsten eller mellan material med olika tjälfarlighet luta mer än 1:10 i förhållande till vägyta.

Fyllning bör, med hänsyn till risk för ojämna sättningar, utföras homogen i horisontell led.

Fyllningsytor, närmare vägyta än 3 m, bör om möjligt hållas fria från vattensamlingar.

Anm Material E motsvarar jord med hög organisk halt och vattenkvot

.03 Packning

Från 3 m under vägyta och uppåt skall fyllning utläggas och packas enligt tabell 4:05-2 eller med likvärdig packningsinsats.

Vid leriga material eller i närheten av känsliga anläggningar kan det vara olämpligt att använda vibrerande redskap.

Vid risk för frysning bör packning utföras så snart som möjligt efter utbredning av massor, tyngre packningsredskap i förhållande till lagertjocklek användas och om möjligt massor med hög vattenkvot undvikas. Dessa åtgärder minskar eftersättningsarnas storlek.

Packningsredskap	Minsta antal överfarter	Största lagertjocklek efter packning, m		
		Material		
		A, B	C, D2	D1
Vibratorstamp, vikt min 70 kg	3	0,30	0,25	0,20
Vibratorplatta, vikt min 100 kg	4	0,15	0,10	-
vikt min 200 kg	4	0,20	0,15	0,10
vikt min 400 kg	4	0,30	0,25	0,15
vikt min 600 kg	4	0,40	0,30	0,20
Vibrerande envalsvalt				
statisk linjelast				
min 15 kN m (vikt ca 2 ton)	6	0,35	0,25	0,20
min 30 kN m (vikt ca 6 ton)	6	0,6	0,5	0,3
min 45 kN m (vikt ca 10 ton)	6	1,0	0,75	0,4
min 65 kN m (vikt ca 15 ton)	6	1,5	1,1	0,6
Vibrerande tandemvalt¹⁾				
statisk linjelast				
min 5 kN m (vikt ca 1 ton)	6	0,15	0,10	-
min 10 kN m (vikt ca 2 ton)	6	0,25	0,20	0,15
min 20 kN m (vikt ca 6 ton)	6	0,35	0,3	0,2
min 30 kN m (vikt ca 10 ton)	6	0,5	0,4	0,3
Statisk trevalsvalt.				
Linjelast				
min 50 kN m (vikt ca 10 ton)	6	0,25	0,20	0,20
Gummihjulsvält.				
Last hjul				
min 15 kN	6	0,20	0,20	0,20
min 25 kN	6	0,30	0,25	0,25
Bandtraktor, vikt min 10 ton	6	0,25	0,20	0,20

¹⁾ När packning utförs med vibrering på båda valsarna kan antalet överfarter minskas till fyra

Tabell 4:05-2 Packning

Angående fyllning för rörledning och trumma anges för skyddstäckning samma värden som i tabellen i Mark AMA. Fyllning mot brostöd anges i kap 4:08.03.

Intressant är att studera kraven för grundläggning av bro. Dessa ges i kap 4:12. Det accepteras endast friktionsjord och sprängsten. Liksom i SBN 80 får finjordshalten vara max 10%. Dessutom kan man konstatera att det krävs större packningsarbete i BYA 84 än i SBN 80.

.02.01 Fyllning av friktionsjord

Fyllning skall vara otjälad och får inte innehålla snö, is växtdelar eller annat organiskt material.

Fyllning och packning får inte ske när risk för tjälning föreligger.

Halt (0,074/20) får högst vara 10%.

Största stenstorlek i fyllning får högst vara halva lagertjockleken.

Fyllning skall utläggas i lager, vilka vart och ett skall packas till medelfast lagring, se VV publikation TB 103, Bronormer, eller till minst 90% packningsgrad enligt metod tung instampning.

Vid fyllnings botten skall packning utföras intill ett avstånd, mätt horisontellt, från bottenplattans ytterkant, som är minst lika stort som fyllningens tjocklek.

Fyllning skall packas under hela bottenplattan samt intill ett avstånd av minst 0,5 m utanför plattans ytterkant i nivå med plattans underyta.

Packningsresultatet skall kontrolleras enligt föreskrifter på arbetsritning eller särskild arbetsbeskrivning.

I tabell 4:08-4 angivna lagertjocklekar och packningsinsatser ger normalt nöjaktigt resultat.

.02.02 Fyllning av sprängsten

Fyllning av sprängsten skall i tillämpliga delar utföras enligt kap 4:12.02.01. Utöver detta skall följande gälla.

Om underlaget består av erosionskänsliga jordarter skall ett minst 0,2 m tjockt lager av grus utläggas innan sprängsten påförs. Sprängstens största längdmått får högst uppgå till 2/3 av lagertjockleken.

Fyllningen skall avjämnas minst 0,1 m under grundläggningsnivån och tätas med skärv eller makadam.

Därefter skall makadam eller grus påförs upp till grundläggningsnivån och packas enligt arbetsbeskrivning.

Packningsresultatet skall kontrolleras enligt föreskrifter på arbetsritning eller särskild arbetsbeskrivning.

5. Djuppäckning

5.1 Allmänt

För att förbättra bärighet och undvika sättningar i löst lagrade sandmaterial tillgrips i vissa fall packning, varvid så god djupverkan som möjligt eftersträvas. Packning med tung vibrationsvält har i många fall visat sig vara en lämplig metod. Ett alternativ till vibrationsvälten utgör kraftiga stavvibratorer, ursprungligen utvecklade för betongvibrering i stora betongdammar. Vibroflotation, pliggpålning och packning med fallande vikter utgör ytterligare alternativ. Den senast utprovade metoden för djuppäckning utgörs av en stång försedd med vingar av korslagda stål som sätts att vibrera, den s k

vibrovingen. Vibrationerna åstadkommes med samma utrustning som används vid nedvibrering av pålar och spont.

Ytterligare en metod att använda vid djuppackning utgörs av sprängning.

5.2 Tunga vibrationsvältar

Djuppackning av sand med tunga vibrationsvältar har hittills främst tillämpats i USA och Sverige. I Sverige har traktordragna vibrationsvältar med 9 resp 13 tons vikt använts för djuppackning. Numera finns på marknaden även traktordragna vibrationsvältar med 15 tons statisk vikt och 380 kN centrifugalkraft.

Djuppackning med tunga vibrationsvältar är i första hand lämplig för sand och grus med max 5 ä 10 % finmaterial enligt Forssblad, Dynapac. Vid djuppackning av sand ligger ofta grundvattenytan högt vilket gör att det material som skall packas ofta är vattenmättat, vilket innebär att vattning ej behöver tillgripas.

En annan faktor som visat sig fördelaktig med hänsyn till djupverkan är en ökning av antalet överfarter. Erfarenheterna har visat att en ökning av antalet överfarter till minst 10, i vissa fall upp till 15 ä 20, visat sig fördelaktig med hänsyn till djupverkan. Vid packning med tunga vibrationsvältar betingas packningsverkan ned till 1,5 - 3,0 m djup främst av de dynamiska trycken som välten åstadkommer i marken. Enligt en teori som har framlagts av d'Appolonia m fl är den packningsverkan som kan erhållas på större djup sannolikt betingad av det stora antalet lastväxlingar med liten amplitud som välten åstadkommer. Antalet lastväxlingar ökar direkt med antalet överfarter.

Lämplig vält hastighet vid djuppackning är 2-4 km/h.

Som exempel på utförd packning med vibrationsvält relateras här ett arbete utfört i Tomelilla (Forssblad & Nyman, 1972). Den geotekniska undersökningen för en planerad industrihall visade att jorden, som bestod av jämnkornig sand, var löst lagrad (enligt viktsondering) ned till 4 ä 6 m djup. I flera borrhål erhöles frisjunkning för 100 kg sondbelastning.

Den vält som användes vid packningsarbetet var en 9 tons vibrationsvält av typ Dynapac CK 50 med frekvens 1.500 vibr/min och 220 kNs centrifugalkraft. Ett område med 4.400 m² yta packades med 10-12 överfarter. Ett exempel på resultat av sonderingar utförda före och efter vibreringen visas i fig 11. En god packningsverkan erhöles genomgående ned till ca 2 m djup, men en mindre packningsverkan erhöles i vissa borrhål ned till 3 ä 4 m djup.

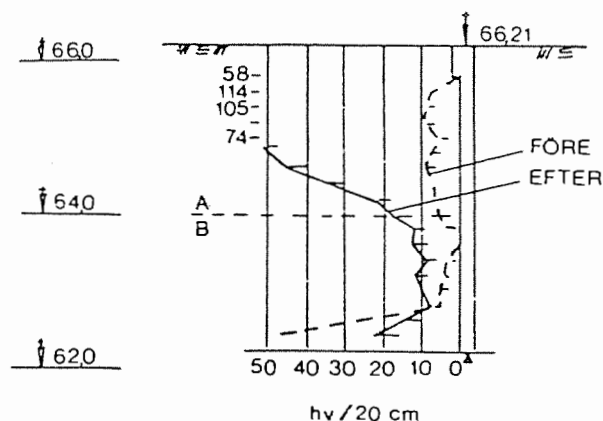


Fig 11. Packningseffekt uppmätt vid viktsondering (Forssblad & Nyman, 1972)

De hittillsvarande erfarenheterna avseende den djupverkan som kan uppnås med olika välttyper kan sammanfattas i tabell 4.

Tabell 4. Djupverkan vid vibrationsvältning av sand med 10-15 överfarter vid hög grundvattenyta (Forssblad, 1975).

Välttyp	Djup till vilket den packade sanden är fast lagrad ¹⁾	Viss ökning av packningsgraden ned till
5 tons traktordragen vält	1,5 - 2,0 m	ca 2,5 m
9 " traktordragen vält	2,0 - 2,5 m	" 3,5 m
13 " traktordragen vält	3,0 - 4,0 m	" 5,0 m
15 " traktordragen vält	3,5 - 4,5 m	" 6,0 m

¹⁾ Vid viktsondering med 100 kg last mer än 15 helvarvs vridning för 20 cm sjunkning.

5.3 Stavvibrator

Djuppäckning kan även utföras med stavvibrator avsedd för betongvibrering. Med hänsyn till packningseffekten bör man använda så kraftiga stavvibratörer som möjligt. Betongvibratörer med 15 cm diameter avsedda för stora betongdammar har bl a använts vid djuppäckning av löst lagrat åsgrus under det provisoriska riksdagshuset i Stockholm. I detta fall var staven försedd med ett särskilt förlängningsrör till 4 m total längd. Gruset vibrerades med avståndet 0,5 m mellan nedsticken. Stavvibrering blir avsevärt dyrare per m³ än djuppäckning med vibrationsvält men kan användas där utrymmena är begränsade och också där markskakningar av en tung vibrationsvält kan medföra risk för skador på intilliggande byggnader.

5.4 Fallvikt

Päckning med fallande vikt har kommit till användning under senare år. I Karlstad har uppmuddrade massor för blivande hamnplan packats med en vikt på 12 ton som fick falla fritt 12 m ett visst antal gånger. Päckningen utfördes i rutor med sidlängden 10 m och i varannan ruta för att porvattenövertrycket skulle hinna bortgå. Därefter packades övriga rutor. Samma procedur upprepades 3-7 gånger. Jorden bestående av silt och sand erhöll god päckning till ca 5-6 m djup. Sättningen blev av päckningen ca 0,45 à 0,75 m.

Päckning av sprängsten har även utförts med fallvikt. I Uddevalla packas sprängsten med en mäktighet upp till 40 m. I detta fall används en 40 tons vikt som får falla 40 m. Kontroll av fyllningen utfördes i detta fall genom studium av stötvågshastigheten, när fallvikten träffar fyllningsytan. Normal sondering låter sig ju ej göras i sprängsten.

I samband med utfyllningar i vatten på Verkö vid Karlskrona jämfördes päckning med vibrationsvält och fallvikt. Sprängsten ändtippades i vatten. Mäktigheten blev ca 4 m inom aktuell yta. När fyllningen kommit över vattenytan utfördes således päckning med 10 och 15 tons vält och med fallvikt. Fallvikten fick falla fritt dels 1,5 m och dels 3,0 m. Erhållna sättningar framgår av fig 12. Av resultaten

finner man att lika stora sättningar erhålls genom fallviktspackning med 3 tons vikt och 1,5 m fallhöjd som med en 15 tons vibrationsvält! Djupverkan av fallviktspackning är ungefär $0,6\sqrt{Q \cdot h}$ meter, där Q anger viktens tyngd i ton och h fallhöjden i meter.

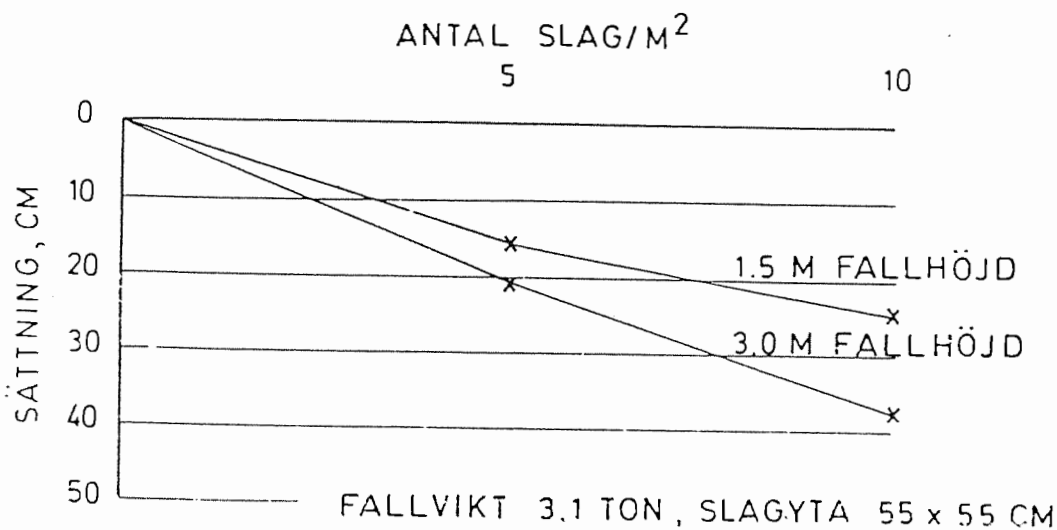
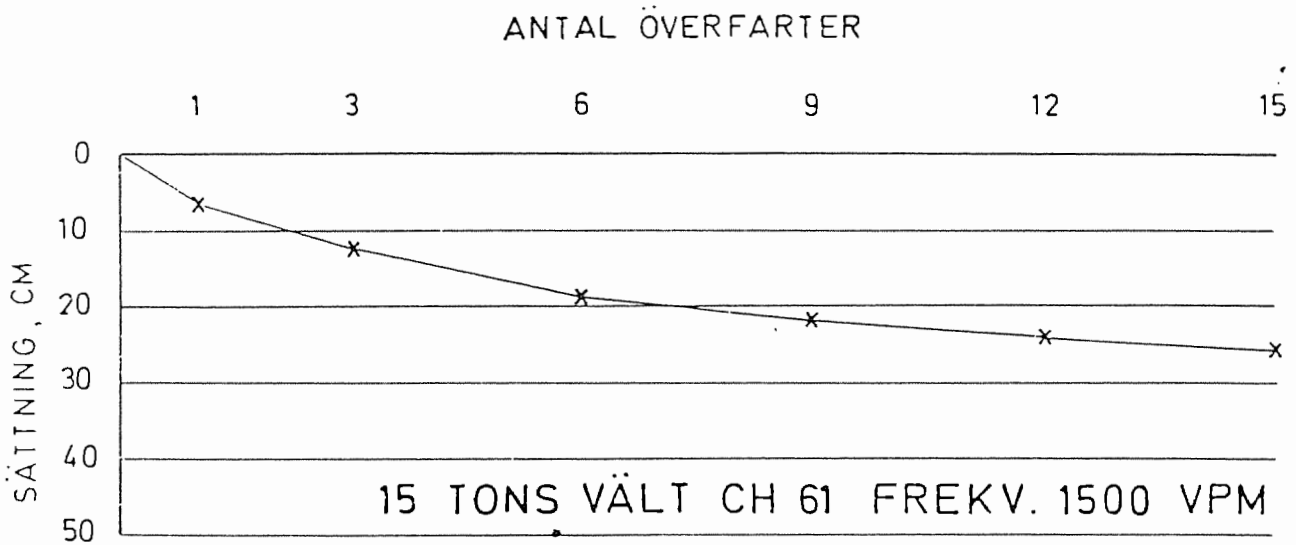
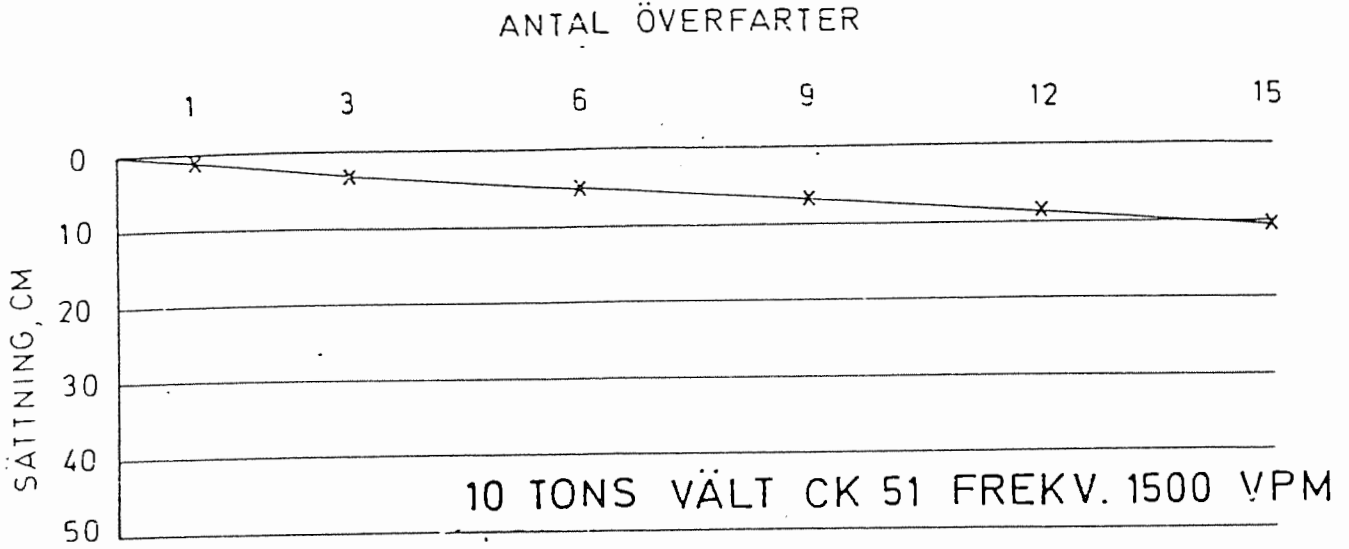


Fig 12. Sättningar vid packning av ändtippad sprängstensfyllning med 4 m mäktighet.

5.5 Vibrovinge

En metod för packning av lös sand som utvecklats på senare år är vibrovingen. En stång med påsvetsade vingar körs ner i jorden med en vibrationshammare. Hastigheten vingen körs ner och dras upp med väljes med hänsyn till jordart och efterfrågad packningsgrad. Nedsticken görs i ett triangulärt mönster med ett avstånd varierande mellan 1,5 och 5,0 m. De största avstånden används för finkorniga jordar. Packningen blir hög och jämn utom i ytan. Det erfordras därför att ytan efterpackas med vibrationsvält. Ett exempel på utfört arbete är hamnutbyggnaden i Rostock. Resultat från trycksondering före och efter packning med vibrovingar visas i fig 13. Effekten av en efterföljande ytpackning visas också.

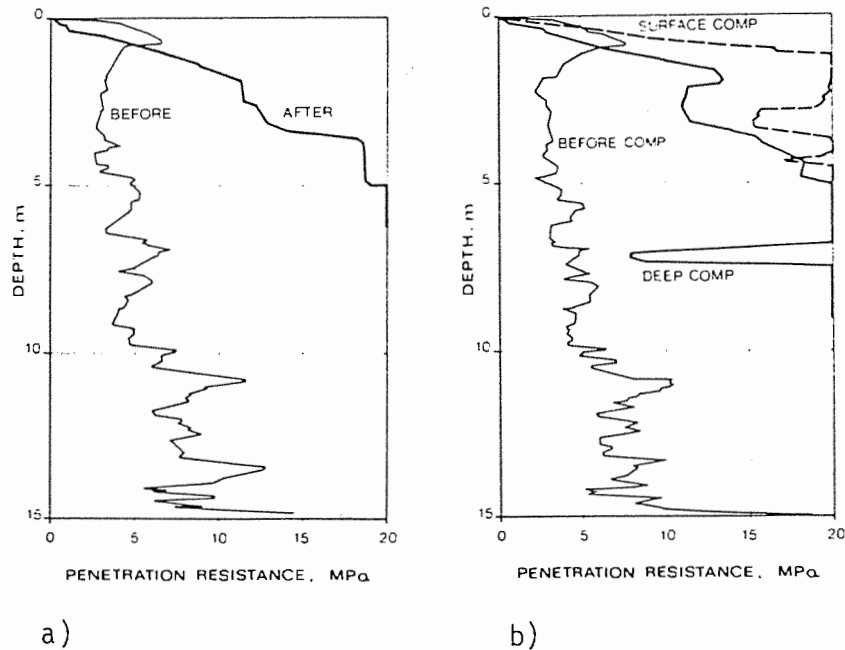


Fig 13. Trycksondering i inspolad sandfyllning i Rostock. Resultat av djuppackning (a) och dessutom ytpackning (b). (Massarsch & Broms, 1983).

5.6 Sprängpackning

Tekniken att packa vattenmättade jordar genom sprängning har en 20-årig tradition i Sovjet. Man kan särskilja tre olika tekniker, vilka skiljer sig genom placeringen av sprängmedlet.

1. Sprängmedlet placeras i det jordlager som skall packas genom att ett foderrör med lös spets drives ned i marken. Laddningen placeras och röret dras upp. I plan placeras laddningarna i ett kvadratisk nätmönster med exvis 10 m sida.
2. Laddningen placeras på ytan av det jordlager som skall packas.
3. Vid packning av submarina sandlager praktiseras även tekniken att låta laddningarna befinna sig i vattnet, dvs mellan vattenytan och överytan av det jordlager som skall packas.

De två sistnämnda teknikerna kräver en större insats av sprängmedel per m³ packad jord än den första. Men de kräver å andra sidan inget borrhningsarbete. Metoden att packa genom sprängning är användbar för vattenmättade löst lagrade permeabla friktionsjordar samt sprängsten.

Insatsen av sprängmedel skall dimensioneras så att jorden kommer i ett flyttillstånd (liquefaction). Att öka insatsen utöver vad som erfordras för att framkalla liquefaction ger i sig ingen ökning av packningseffekten utan endast ökning av den influerade zonen.

Diagram finns framtagna för att förenkla dimensioneringen. Laddningsstyrkan är normalt av storleksordningen 0,25 kg/m³ jord. Genom att tillgripa intervallsprängning kan laddningsstyrkan halveras med bibehållen packningseffekt. Det skall observeras att själva packningseffekten erhålles två till tre dagar efter sprängningen, då jorden omlagrats och rekonsoliderat.

6. Packningskontroll

All packningskontroll kan indelas i två delar, utförandekontrollen och resultatkontrollen.

6.1 Utförandekontroll

Denna del av kontrollen syftar till att ge en kvalitetsmässig uppfattning om entreprenörens sätt att utföra fyllningsarbetena. Hur stämmer utförandet mot beskrivningar och bestämmelser (packningsredskap, antal överfarter, lagertjocklekar, vattenkvot).

6.2 Resultatkontroll

Avsikten med denna kontroll är att klargöra kvaliteten hos den färdiga fyllningen. Denna kontroll utföres med någon geoteknisk standardmetod eller med speciellt framtagna metod. Vid kontroll av yttlig packning krävs enligt normerna normalt enbart att packningsgraden skall uppnå ett bestämt värde (90 % av tung laboratoriestampning). Vid djuppackning måste en sonderingsmetod användas.

6.3 Packningskontroll: Godkänna - Underkänna

Oavsett vilken kontrollmetod som användes uppstår alltid frågan om resultatet från kontrollen bör leda till att den kontrollerade fyllningen godkänns eller underkänns. Problemet kan sägas sönderfalla i ett antal delproblem:

1. Hur definiera målsättningen, dvs inom vilka gränser kan det färdiga resultatet som helhet få variera.
2. Eftersom hela fyllningen inte kan testas, tvingas man att utifrån ett stickprov bedöma resultatet.
 - a) Hur stort bör detta stickprov vara?
 - b) Inom vilka gränser skall detta stickprov tillåtas att variera för att med rimlig statistisk säkerhet garantera att inte en fyllning som borde underkännas godkänns, ej heller att den underkänns trots att den borde godkännas.
3. Hur avgöra om enstaka värden som kan synas extrema tillhör den undersökta populationen och bör ingå i stickprovet eller om de är just extremvärden som ej bör räknas in i stickprovet.

Alla dessa frågeställningar har av AASHO smälts samman till en färdig metodik, vilken återges nedan.

1. Dela imaginärt in den yta av fyllningen som skall kontrolleras i ett antal kvadrater, exvis 150 kvadrater. Numrera kvadraterna (med hjälp av slumpstalstabell eller räknedosa).
2. Dra slumpstal, mellan 1 och 150. Lika många slumpstal skall dras som observationer skall göras. Ta strickprov ur de kvadrater som slumpstalen visat.
3. Efter att stickprovet tagits, beräknas för detta

medelvärde

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

och standardavvikelsen

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Dessa storheter finns idag som fasta funktioner på många räknedosor.

4. Beräkna storheten

$$C_U = (U - \bar{x})/s$$

och

$$C_L = (\bar{x} - L)/s$$

där U och L är den övre respektive undre gränsen, inom vilken resultatet tillåts variera. Har exvis angivits att packningsgraden får variera mellan 90 och 95 % så är

$$U = 95$$

$$L = 90.$$

5. Använd nedanstående tabell 5 för att bestämma storheterna P_U och P_L .

Om endast en övre gräns U finns specificerad, gäller att $P_U \leq \bar{P}$.

Om endast en undre gräns L finns specificerad, gäller att $P_L \leq \bar{P}$.

Om såväl en övre U som en undre L gräns finns specificerad, gäller att $P_U + P_L \leq \bar{P}$.

Uppfylls inte det av de tre villkoren ovan som är aktuellt, underkänns fyllningen.

\bar{P} är en storhet, vars värde bestäms av stickprovets storlek samt storleken av den andel av hela populationen som kan tillåtas ligga utanför de specificerade gränserna. Om det exvis är acceptabelt att 20 % av värdena hamnar utanför specifikationerna, så erhålls \bar{P} för en stickprovsstorlek av 8 observationer lika med 36, fig 14.

C_U or C_L	Sample Size, n				
	4	6	8	10	12
	P_U or P_L				
0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
.1	46.7	45.7	45.3	46.2	46.1
.2	43.3	42.7	42.6	42.4	42.3
.3	40.0	39.1	38.8	38.6	38.5
.4	36.7	35.6	35.2	34.9	34.8
.5	33.3	32.1	31.8	31.4	31.3
.6	30.0	28.7	28.3	27.9	27.9
.7	26.7	25.4	25.0	24.7	24.6
.8	23.3	22.2	21.9	21.6	21.5
.9	20.0	19.1	18.9	18.7	18.6
1.0	16.7	16.5	16.2	16.0	15.9
1.1	13.3	13.5	13.5	13.5	13.5
1.2	10.0	10.8	11.0	11.2	11.3
1.3	6.7	8.6	8.9	9.2	9.3
1.4	3.3	6.4	6.9	7.4	7.5
1.5	0	4.5	5.2	5.9	6.0
1.6	0	2.9	3.7	4.5	4.8
1.7	0	1.6	2.5	3.4	3.6
1.8	0	0.8	1.6	2.5	2.7
1.9	0	0.5	1.2	1.8	1.8
2.0	0	0.2	0.7	1.2	1.4
2.1	0	0.1	0.4	0.7	0.9
2.2	0	0	0.2	0.4	0.6
2.3	0	0	0.1	0.2	0.4
2.4	0	0	0	0.1	0.2
2.5	0	0	0	0	0.1
2.6	0	0	0	0	0.1
2.7	0	0	0	0	0
2.8	0	0	0	0	0
2.9	0	0	0	0	0
3.0	0	0	0	0	0
3.1	0	0	0	0	0

Tabell 5. Tabellvärdena P_U och P_L för olika värden på C_U och C_L .

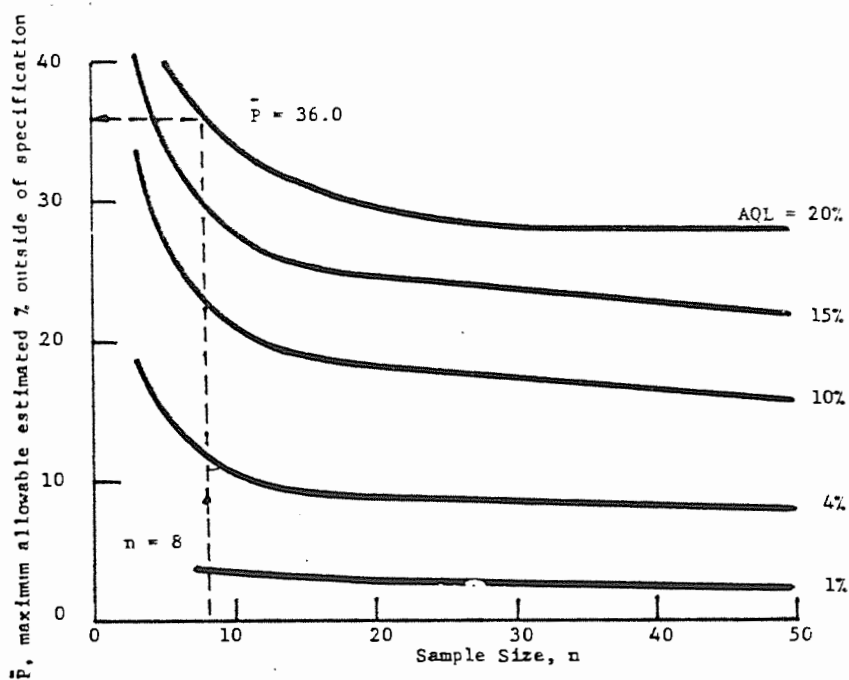


Fig 14. \bar{P} -värdet som funktion av provantal och accepterad procentandel, värden som får falla utanför kraven (AQL).

6. En kontroll av att stickprovet ej innehåller några extremvärden kan också göras. Detta visas inte här.

Ex: För ett fyllningsarbete har följande specifikationer uppställt:

Packningsgraden skall vara $R_D \geq 90\%$, d v s $L = 90$. Högst 20% av fyllningen får befinna sig utanför denna gräns. Vattenkvoten får variera mellan $w_{opt} - 2 < w < w_{opt} + 2$, där $w_{opt} = 9\%$, d v s $U = 11$ och $L = 7$. Högst 10% av fyllningen får befinna sig utanför dessa gränser.

För att kontrollera såväl packningsgrad som vattenkvot användes ett stickprov omfattande 8 observationer. Stickprovet togs slumpmässigt över ytan. Resultat av stickprovet blev

Packningsgrad: 96, 88, 93, 98, 85, 91, 94 och 95

Vattenkvot: 8,6, 12,4, 10,1, 7,9, 9,3, 10,9, 7,7 och 9,1

Är packningsgraden godkänd?

Beräkna

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i / n = 92,5$$

$$s = 4,31$$

$$C_L = (92,5 - 90) / 4,31 = 0,58$$

vilket ger

$$P_L = 28,5 \leq \bar{P} = 36 \quad \therefore \text{godkänns}$$

Är vattenkvoten godkänd?

$$\bar{x} = 9,5$$

$$s = 1,58$$

$$C_U = (11 - 9,5) / 1,58 = 0,95 \quad P_U = 17,5$$

$$C_L = (9,5 - 7,0) / 1,58 = 1,58 \quad P_L = 3,7$$

$$P_U + P_L = 21,2$$

$$\bar{P} = 23 \quad \text{d v s} \quad P_U + P_L \leq \bar{P} \quad \therefore \text{godkänns}$$

6.4 Mark AMA 83

I Mark AMA 83 ges en mer nyanserad syn på packningskontroll. Man talar inte längre om packningsgrad utan om packningsresultat. Vidare tas i RA 83 upp även andra kontrollmetoder än vattenvolymeter. Metoder som nämns är seismik, minipressometer, skruvplatta och kompaktometermätning. Kompaktometern är en intressant metod för kontinuerlig kontroll av packningsresultatet.