

Svenska Geotekniska Föreningen
Swedish Geotechnical Society

SGF Notat 1:2004

Packning och packningskontroll av blandkornig och finkornig jord

Arbetsgruppen för ytpackning
ingående i SGF:s Jordförstärkningskommitté

FÖRORD

Svenska Geotekniska Föreningens ”Arbetsgrupp för ytpackning” har som målsättning att följa och aktivt medverka till utvecklingen av tekniken för yttäckande packning av jord- och bergmaterial.

Arbetsgruppens tidigare verksamhet omfattade i stor utsträckning packning och packningskontroll av överbyggnader på vägar och flygfält bestående av grovkorniga kross- eller naturmaterial. Metoden att utföra yttäckande packningskontroll med hjälp av vältmonterade elektroniska packningsmätare var föremål för omfattande undersökningar och infördes i de packningsbestämmelser avseende resultatkontroll, som numera återfinns i ATB VÄG och Anläggnings AMA 98.

De senaste åren har arbetsgruppens verksamhet i stor utsträckning koncentrerats på frågor i samband med packning och packningskontroll av blandkorniga och finkorniga jordmaterial. Resultaten av de fältundersökningar och studier som berört denna fråga har sammanställts i följande rapport utarbetad på arbetsgruppens vägnar av Jim Bengtsson och Lars Forssblad. Jim Bengtsson, Skanska, som svarat för genomförandet av fältförsök utförda i Vinninge, Boxholm och Karlskrona, har också utarbetat delrapporter avseende dessa undersökningar.

Forskningsbidrag till de utförda undersökningarna har erhållits från Banverket, Luftfartsverket, SBUF, Svenska Geotekniska Föreningen, Vattenfall, Vägverket, Vägverket Produktion samt Statens geotekniska institut.

Dynapac, Skanska och Vägverket har därutöver utan kostnader för Arbetsgruppen medverkat med bl a insatser av vältar och annan maskinutrustning och laboratorieprovning. Arbetsgruppen framför härmed ett varmt tack för de bidrag, som kommit de utförda undersökningarna till del.

Efter Heinz Thurners bortgång är Bo Berggren arbetsgruppens ordförande. Gruppen har i dag följande medlemmar:

Bo Berggren, Statens geotekniska institut, ordförande
Jim Bengtsson, Skanska
Lars Forssblad
Christer Hagert, Vägverket Produktion
Klas Hermelin, Vägverket
Ingmar Nordfelt, Dynapac
Åke Sandström, Geodynamik
Peter Svenningsson, Vägverket Produktion, sekreterare

Linköping i november 2004

Svenska Geotekniska Föreningens ”Arbetsgrupp för ytpackning”

INNEHÅLL

Förord	3
Sammanfattning	6
1. Bakgrund	7
2. Syften och provningsmetoder	7
3. Finansiering	8
4. Packningskontroll med utgångspunkt från luftporhalten	8
Utförda undersökningar	9
Provningsförfaranden	9
Tidigare fältundersökningar i Kopparberg	15
Slutsatser	16
Krav på maximal vattenkvot	16
5. Yttäckande packningskontroll	19
Utveckling av metoder för yttäckande packningskontroll	20
6. Mätningar av porvattentryck	22
7. Bärighetsmätningar med lätt fallvikt	23
8. MCV-metoden	25
9. Prov med "Impact roller"	26
10. CompBase	27
11. Packningsanvisningar	27
12. Litteratur	28

SAMMANFATTNING

Svenska Geotekniska Föreningens ”Arbetsgrupp för ytpackning” har de senaste åren i första hand koncentrerat sin verksamhet på frågor i samband med packning och packningskontroll av blandkorniga och finkorniga jordmaterial. Undersökningar har genomförts för att klarlägga om, på sådana material, bestämningar av det packade materialets luftporhalt kan vara en lämplig metod för resultatkontroll av det utförda packningsarbetet. Bestämningar av luftporhalten föreslås utföras med hjälp av densitetsmätningar med isotopmätare i kombination med vattenkvotsmätningar genom torkning. Torkning i mikrovågsugn möjliggör en tidsbesparing, jämfört med torkugn eller torkskåp. Förslag till riktlinjer för redovisning och bedömning av försöksresultaten, med utgångspunkt från bestämningar av luftporhalt och vattenkvot, har framlagts.

I de utförda fältförsöken har även ingått mätningar med vältmonterade packningsmätare, varvid också några nya mätprinciper studerats. Tidigare framkomna begränsningar, när det gäller användning av packningsmätare på blandkorniga och finkorniga och material med höga vattenkvoter, har bekräftats av de nu utförda proven. Samtidigt har nya utvecklingsmöjligheter framkommit.

Även några mätningar av hur porvattentrycken påverkas vid vibrationspackning har utförts.

Relativt omfattande fältundersökningar av dynamiska bärighetsmätningar med den i Tyskland utvecklade lätta fallvikten har genomförts. Metoden möjliggör snabba och enkelt utförda bärighetsbestämningar. Det föreslås att svenska metodbeskrivningar för sådana mätningar utarbetas.

Mätningar med en i England utvecklad instampningsmetod, MCV-metoden, har också ingått. Resultaten diskuteras.

Sedan några år har Dynapac introducerat en databas kallad CompBase, som kan vara till god hjälp vid planering och utförande av jordpackningsarbeten. I rapporten diskuteras vissa förslag till kompletteringar av CompBase genom undersökningar av vattenkvotens inverkan på packningsresultaten, när det gäller blandkorniga och finkorniga jordmaterial.

Arbetsgruppen föreslår att de i Sverige tillämpade packningsanvisningarna ges en mer enhetlig utformning än vad som nu är fallet.

1. BAKGRUND

För alla omfattande jordpackningsarbeten anses, i praktiskt taget alla länder världen över, att någon form av *resultatkontroll* är motiverad och bör ingå som en viktig del av arbetet.

Fortfarande tillämpas i de flesta fall den av Proctor redan på 30-talet utvecklade metoden att det packade jordmaterialets densitet ska uppgå till eller överskrida ett föreskrivet minimivärde, motsvarande en föreskriven minsta *packningsgrad*, bestämd med utgångspunkt från ett normerat instampningsprov. På många håll används ännu sand- eller vattenvolymeter för fältbestämningar av det packade jordmaterialets densitet. Under senare år har isotopmätare av fabrikat Troxler och motsvarande blivit mer och mer vanliga för densitetsmätningar i fält. Dessa typer av mätare har vissa nackdelar, bl.a. i säkerhetsavseende, men några nya typer av densitetsmätare, lämpliga för jordmaterial, har inte utvecklats. En ny mätartyp för bestämning av asfaltmassors densitet, PQI-mätaren, baserad på mätningar av materialens elektriska ledningsförmåga, har börjat användas, men denna mätartyp är inte användbar på jordmaterial på grund av att dessa, till skillnad mot asfaltmassor, normalt innehåller en större eller mindre mängd vatten.

I vissa länder, bl.a. Tyskland och Österrike, föreskrivs för resultatkontroll av vägöverbyggnader *bärighetsmätningar*, normalt utförda genom statiska plattbelastningsprov. Då resultatkontroll för packning av vägöverbyggnader infördes av det svenska vägverket valdes även här kontroll av ytornas bärighet. Kontrollen baseras antingen enbart på statiska plattbelastningsprov eller som yttäckande packningskontroll med användning av vältmonterade packningsmätare i kombination med kontrollprov utförda genom statiska plattbelastningsprov.

I Sverige tillämpas, när det gäller bankfyllningar, ofta endast *utförandekontroll*, som innebär övervakning av lagertjocklekar och antal överfarter med lämplig typ av packningsmaskin. För de ofta förekommande bankfyllningarna av blandkornig och finkornig jord, i många fall moränmaterial, ofta med höga stenhalter och med varierande gradering och vattenkvot, är den internationellt använda metoden baserad på instampningsprov och i fält utförda densitetsmätningar mindre lämplig.

2. SYFTEN OCH PROVNINGSMETODER

De här redovisade undersökningarna syftar i första hand till att närmare studera packning och packningskontroll av blandkornig och finkornig jord, i Sverige i de flesta fall moränmaterial.

Ett förslag att för resultatkontroll avseende i första hand blandkorniga och finkorniga jordar tillämpa en förenklad form av resultatkontroll baserad på bestämningar av det packade jordmaterialets luftporhalt lades ursprungligen fram av Per Löfving, numera verksam vid Vägverket Konsult. Metoden anges i ATB VÄG [1]. För att närmare studera denna i Sverige hittills mer eller mindre oprövade metod har arbetsgruppen under senare år utfört relativt omfattande fältundersökningar.

Luftporhalterna har beräknats med utgångspunkt från densitetsmätningar utförda med isotopmätare. För beräkning av luftporhalten fordras även kännedom om vattenkvoten. Metoden att snabbt bestämma de packade jordmaterialens vattenkvot genom torkning i mikroångsugn har provats. Detta förfarande möjliggör en avsevärd tidsvinst jämfört med torkning i torkugn eller torkskåp.

Även förslag till riktlinjer för redovisning och bedömning av försöksresultaten med utgångspunkt från bestämmningar av luftporhalt och vattenkvot har framlagts.

Packningskontroll med utgångspunkt från bestämmningar av den packade ytans bärighet, i vissa fall med hjälp av *yttäckande packningskontroll*, har främst kommit till användning i Sverige, Tyskland och Österrike. I de av arbetsgruppen utförda undersökningarna ingår mätningar med vältmonterade packningsmätare, varvid också några nya mätprinciper på förslag av Geodynamik AB studerats.

Även några mätningar av hur porvattentrycken påverkas vid vibrationspackning har ingått.

Relativt omfattande fältundersökningar av bärighetsmätningar med den i Tyskland utvecklade lätta fallvikten har genomförts.

Mätningar enligt en i England utvecklad instampningsmetod, MCV-metoden, har också ingått och diskuteras i rapporten.

Sedan några år har Dynapac introducerat en databas kallad CompBase. Med utgångspunkt från materialtyp får man fram för ändamålet lämplig packningsmaskin och dess kapacitetsdata. CompBase kan vara till god hjälp vid planering och utförande av jordpackningsarbeten. I rapporten diskuteras bl.a. vissa förslag till kompletteringar av CompBase.

En delrapport avseende fältundersökningar utförda i Vinninge hösten 2001 [2] har utarbetats. Motsvarande rapporter avseende undersökningar i Boxholm sommaren 2002 [3] och i Dynapacs packningshall i Karlskrona våren 2003 [4] är under utarbetande. Dessa delrapporter innehåller bl.a. de registrerade försöksvärdena.

3. FINANSIERING

Forskningsbidrag till de utförda undersökningarna har erhållits från Banverket (50 000), Luftfartsverket (25 000), SBUF (100 000), SGF (25 000), Vattenfall (100 000), Vägverket (100 000) och Vägverket produktion (25 000), totalt 425 000 kronor. Dynapac, Skanska och Vägverket har därutöver utan kostnader för Arbetsgruppen medverkat med bl.a. laboratorieprov och insatser av vältar och annan maskinutrustning. Inklusivt dessa ”industribidrag” har de totala projektkostnaderna beräknats ha uppgått till ca 750 000 kronor.

4. PACKNINGSKONTROLL MED UTGÅNGSPUNKT FRÅN LUFTPORHALTEN

Behovet av resultatkontroll av packningsresultaten, även när det gäller bankfyllningar och motsvarande, är mest relevant för dammbyggnader, bankfyllningar under civila och militära flygfält, fyllningar under byggnader och fyllningar ingående i deponier. Även för väg- och järnvägsbankar kan resultatkontroll i vissa fall vara önskvärd. Det kan gälla mycket kvalificerade väg- och järnvägsprojekt. Det kan även gälla sådana jordartsförhållanden, som fordrar speciella prov för att få fram ett lämpligt packningsförfarande, exempelvis blandkornig jord med hög vattenkvot för vilken ATB VÄG rekommenderar förundersökningar utförda genom resultatkontroll. Bankfyllningar består ofta av blandkornig eller finkornig jord, i Sverige och övriga Västeuropa ofta med relativt hög vattenkvot.

En viktig målsättningen för resultatkontroll är att få kontroll över sättningsförloppet.

Alternativet att som kriterium för uppnådd packning föreskriva en maximal luftporhalt har tidigare nämnts i facklitteraturen. Krav på 10 – 12 % maximal luftporhalt återfinns i engelsk och tysk facklitteratur, men som framgår av det följande har även lägre maximihalter tillämpats, i något fall en så låg luftporhalt som 7 % [5]. Ett så lågt värde kan vara lämpligt vid behov av strängare krav, exempelvis vid stora dammbyggnadsprojekt.

I en relativt ny forskningsrapport avseende packning av bankfyllningar av kalkberg vid en i England byggd snabbjärnväg anges att bestämningar av luftporhalten, i detta fall maximerad till 10 %, var den lämpligaste kontrollmetoden [6].

Utförda undersökningar

Undersökningar avseende möjligheterna för packningskontroll med utgångspunkt från bestämningar av luftporhalten har genomförts av arbetsgruppen vid försök utförda i Vinninge, Boxholm och Karlskrona. Planer och sektioner visande de utförda provytorna finns i figur 1. De undersökta jordmaterialens kornfördelningskurvor visas i figur 2.

I en moräntäkt i Vinninge, strax öster om Malmö, utfördes hösten 2001 fältförsök med en sandmorän med ca 30 % finjordshalt och 10 – 12 % vattenkvot, som låg ca 4 % över den optimala, som uppgick till ca 7 %.

För packningen användes en självgående vibrationsvält av fabrikat Hamm, typ 4011 med en totalvikt av 12,5 ton, en statisk linjelast av 30 kN/m, framdrift på valsen och en valsbredd av 2,14 m. Även några lättare välttyper av fabrikat Hamm provades, i första hand för att studera framkomligheten vid höga vattenkvoter. På mycket blöta massor framkom dock inga större skillnader i framkomlighet.

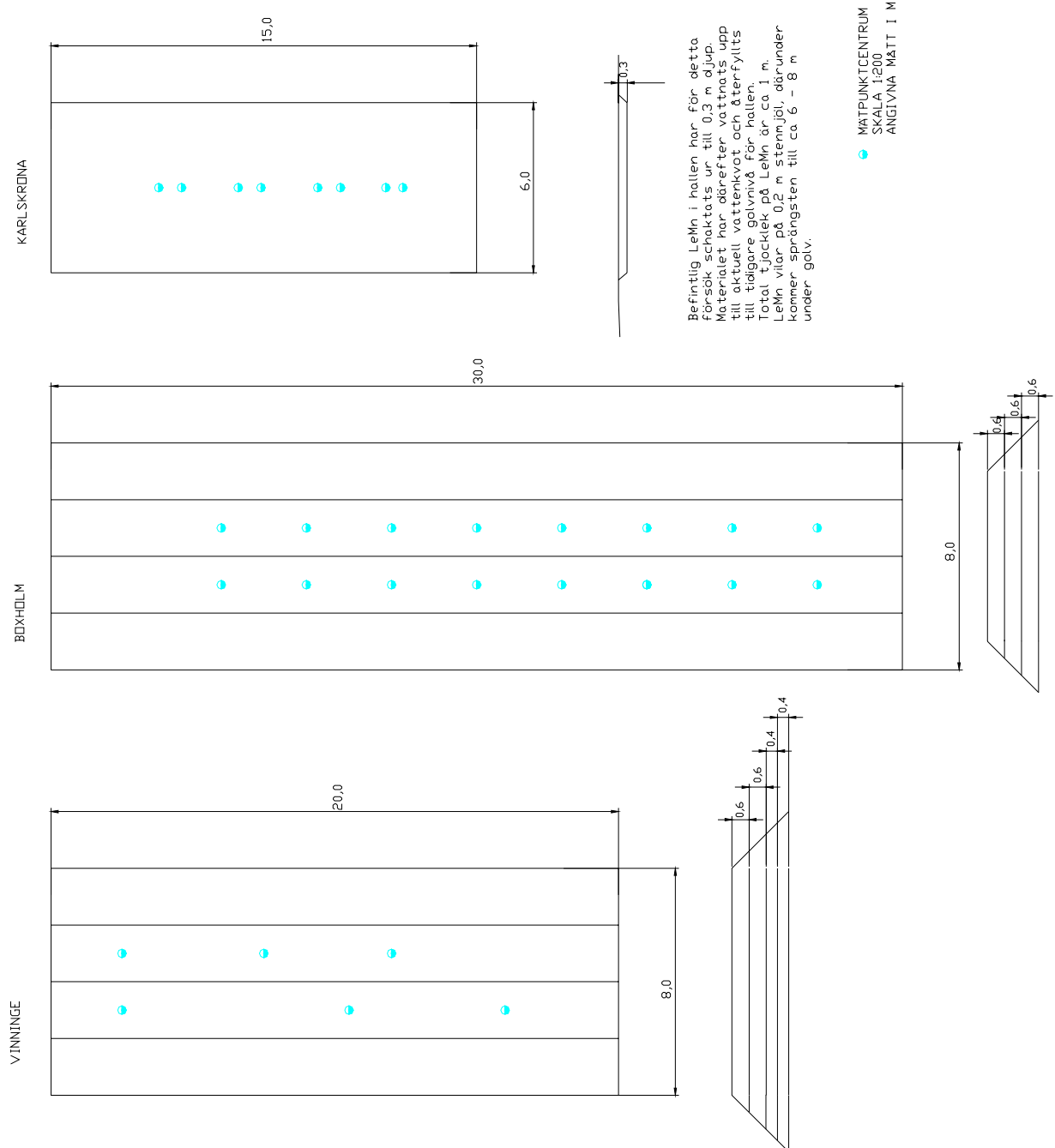
Vid ett vägbygge i Boxholm utfördes sommaren 2002 fältförsök med ett bankmaterial bestående av siltig, sandig morän med mycket varierande gradering och vattenkvot. Härigenom varierade den optimala vattenkvoten mellan 7 och 14 % (medeltal 11 %). Även vattenkvoten uppvisade stora variationer och låg mellan 15 och 25 %, de högsta värdena i det tredje lagret.

Vid Boxholmsförsöken användes en självgående vibrationsvält av fabrikat Dynapac, typ 302 D med en totalvikt av 12,7 ton, en statisk linjelast av 38 kN/m, framdrift på valsen och en valsbredd av 2,13 m, figur 3.

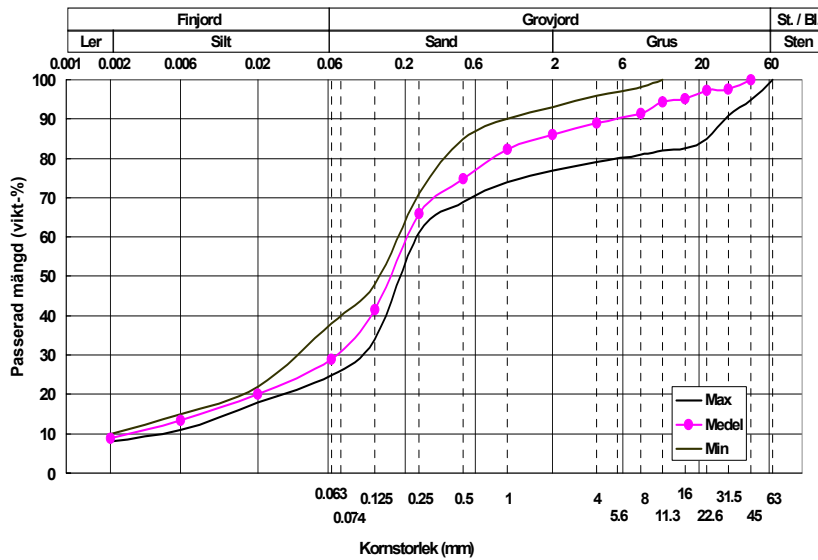
I Dynapacs packningshall i Karlskrona utfördes våren 2003 prov med en siltig lera med ca 15 % vattenkvot. Optimal vattenkvot vid tung instampning uppgick till 11 % och vid lätt instampning till 15 %. Vattenkvoten vid de utförda försöken uppgick till 15 – 16 %, motsvarande den önskvärda nivån. Samma vibrationsvält som vid Boxholmsförsöket användes.

Provningsförfaranden

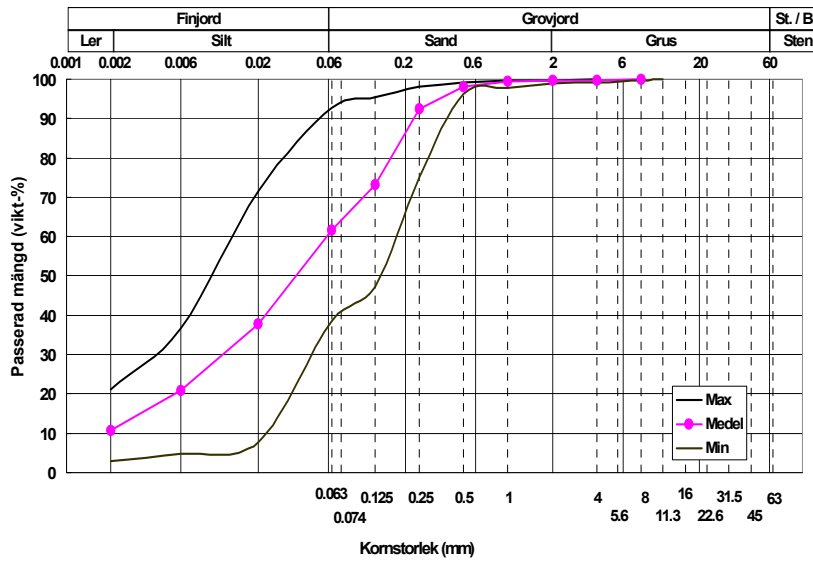
Enligt i Sverige normalt förfarande tillämpades tung instampning (modifierad Proctor). Det kan dock diskuteras om man inte för leror, enligt utomlands normalt tillämpad praxis, borde övergå till lätt instampning (standard Proctor), som i detta fall ger resultat i bättre överensstämmelse med de packningsresultat man kan uppnå i praktiken.



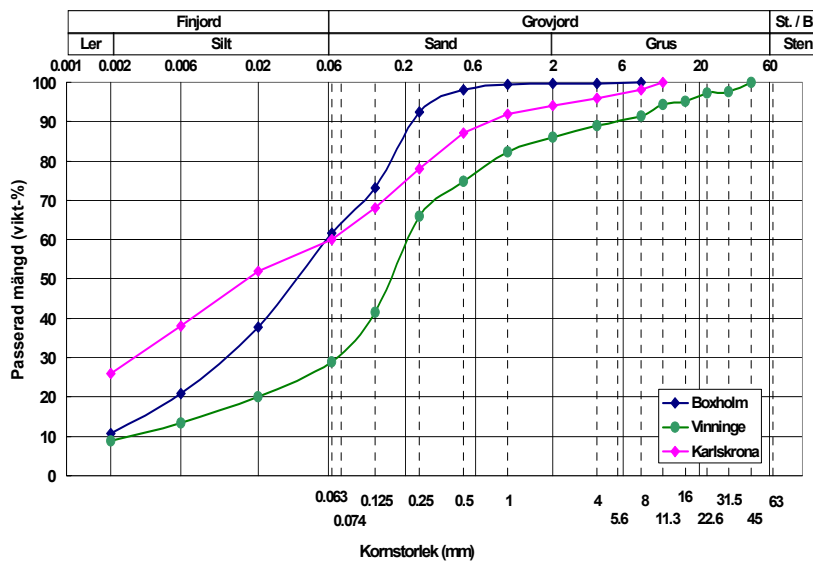
Figur 1. Planer och sektioner visande de utförda provytorna i Vinninge, Boxholm och Karlskrona.



Vinninge



Boxholm



Medelkornkurvor Boxholm, Karlskrona samt Vinninge

Figur 2. De undersökta jordmaterialens kornfördelningskurvor.



Figur 3. Vibrationsvält Dynapac 302D, linjelast 38 kN/m, använd vid undersökningarna i Boxholm och Karlskrona.

Det förfarande som tillämpades för bestämningar av det packade jordmaterialets densitet (torrdensitet) var mätningar med isotopmätare av fabrikat CPN typ MC-3, figur 4, med vilken densiteten från ytan ned till 30 cm djup bestämdes genom nedförandet av en sond. I sondens spets finns en strålningskälla och strålningens minskning från sondens spets till ytan mäts. Strålningens dämpning ger ett mått på jordmaterialets densitet. Före varje fältmätning utfördes kalibrering genom mätning på ett speciellt paraffinblock.

För beräkning av luftporhalten fordras också kännedom om jordmaterialets vattenkvot. Luftporhalten kan sedan beräknas enligt följande formel, angiven bl.a. i ATB VÄG [1]:

$$\text{Luftporhalt} = 100 \cdot (1 - \gamma_d / \gamma_s) - w \cdot \gamma_d / \gamma_w$$

där

γ_d = torrdensitet, ton/m³

γ_s = densitet jordmaterial, 2,65 ton/m³

γ_w = densitet vatten, 1,0 ton/m³

w = vattenkvot, %



Figur 4. Isotopmätare fabrikat CPN typ MC-3.

Med isotopmätare kan jordmaterialets vattenkvot närmast fyllningens överyta bestämmas genom mätning av en utsänd neutronstrålnings dämpning. Resultaten av dessa mätningar har dock visat sig att kunna något påverkas av typ av jordmaterial. Vidare kan vissa avvikelser förekomma mellan vattenkvoten närmast överytan och vattenkvotens medelvärde för hela det lager för vilket densiteten bestämts. För att finna ett i detta fall säkrare alternativ för vattenkvotsbestämningar har det förfarande provats, att ett större jordprov tas upp på det undersökta lagrets medeldjup, figur 5. Vattenkvoten på detta prov bestäms sedan genom torkning. Normalt utförd torkning i torkugn eller torkskåp tar 12 till 24 timmar beroende på provets storlek.



Figur 5a. Provtagningscylinder för upptagning av prover för vattenkvotsbestämningar.



Figur 5b.

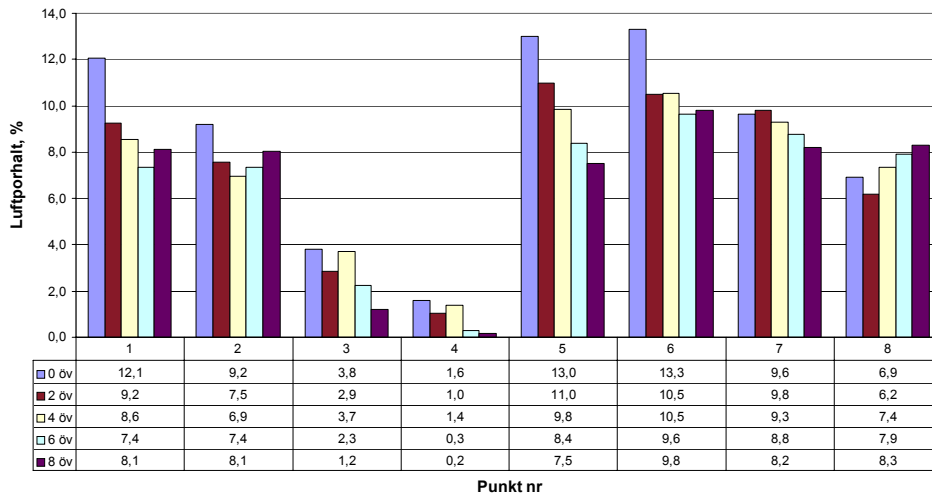
För att förenkla provningsförfarandet och framförallt förkorta provningstiden kan torkning utförd i mikrovågsugn vara ett lämpligt förfarande. Vid prov utförda i 800 W mikrovågsugn har torktiderna kunnat minskas till ca 5 minuter. Vid användning av mikrovågsugn föreslås att för varje projekt tills vidare utföra en kalibrering av metoden för att bl.a. kunna fastställa en lämplig torktid.

Ett tänkbart alternativ kan vara att utföra en kalibrering av vattenkvotsbestämningarna utförda med isotopmätare enligt anvisningar lämnade av tillverkaren av mätaren. Vid kalibreringen bestäms jordmaterialets vattenkvot genom torkning i ugn och jämförs med det värde isotopmätaren registrerat. Ett korrigeringsvärde erhålls. Vår bedömning är att upptagning av torkprov i varje punkt, där densitetsmätningar utförs, ger de säkraste värdena, när det gäller bestämning av luftporhalten.

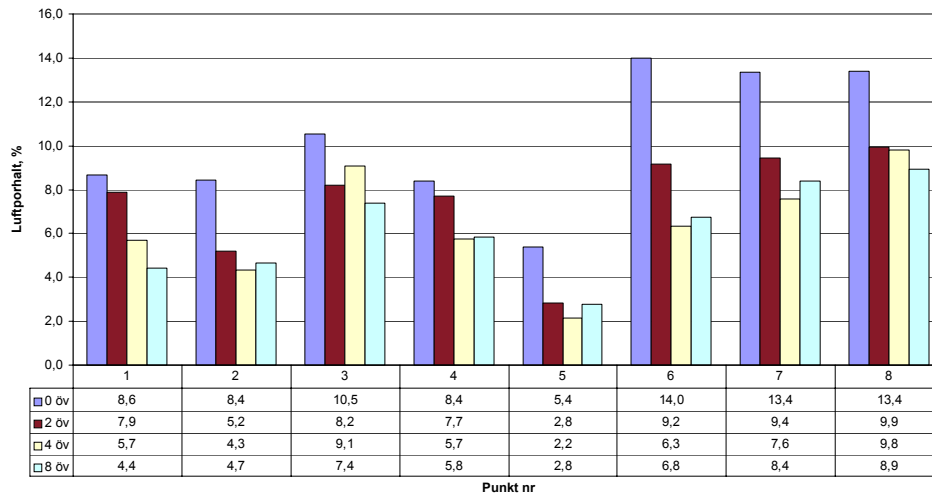
Som slutsats, avseende lämpligt förfarande för bestämningar av luftporhalten, föreslås därför mätningar av torrdensiteten med isotopmätare och vattenkvotsbestämningar med mikrovågsugn på torkprov tagna i de punkter, där densitetsmätningarna utförts, och på det medeldjup, 15 cm, som kan anses mest relevant med avseende på de registrerade densitetsvärdena.

De utförda bestämningarna av det packade jordmaterialets luftporhalt har vid de utförda fältförsöken resulterat i luftporhalter, som vid de ofta höga vattenkvoterna i många fall låg under 10 % redan efter 2 vältöverfarter. Exempel på erhållna resultat visas i diagrammen, figur 6. En sammanställning av luftporhaltsbestämningar utförda i Vinninge, Boxholm och Karlskrona återfinns i figur 7.

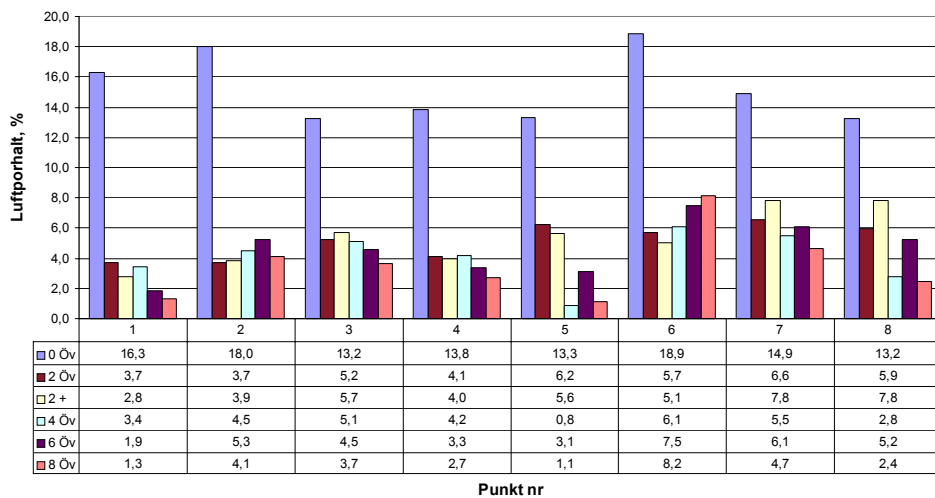
Luftporhalt, Lager 1, spår 2.
BOXHOLM



Luftporhalt, Lager 2, spår 2.
BOXHOLM

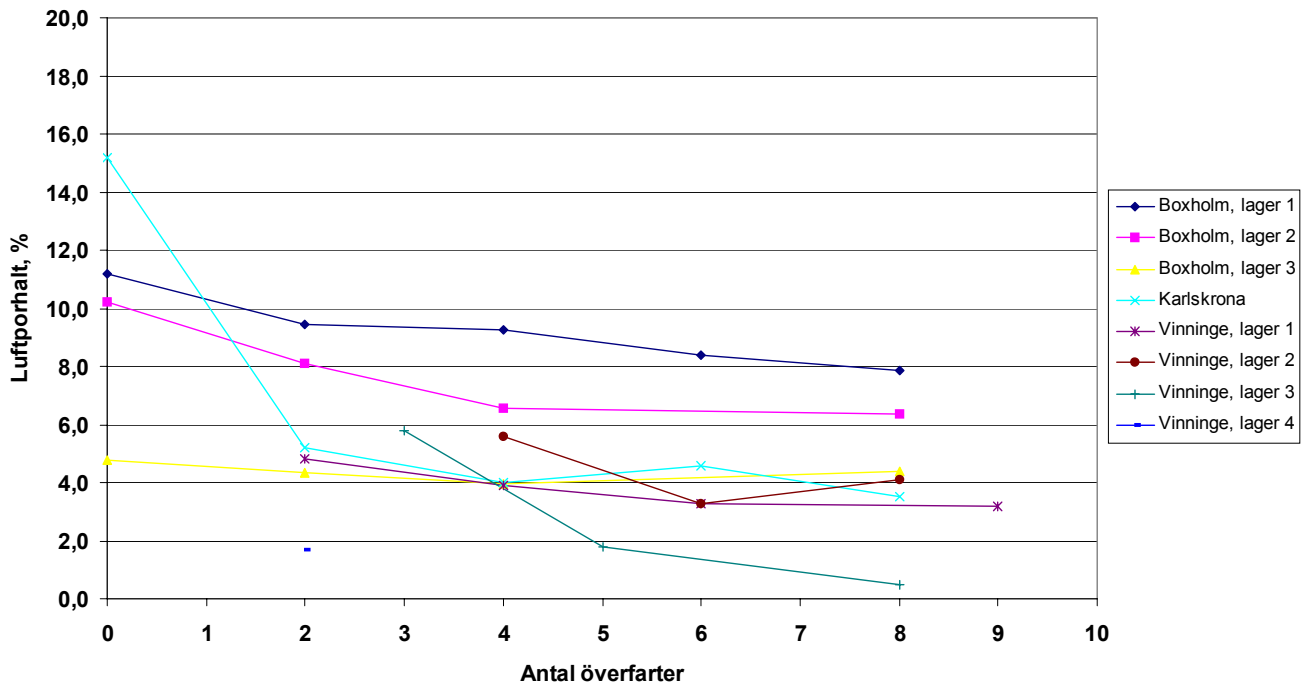


Luftporhalt
KARLSKRONA



Figur 6. Exempel på resultat av luftporhaltsbestämning i Boxholm och Karlskrona.

Luftporhaltsbestämningar i Boxholm, Karlskrona och Vinninge

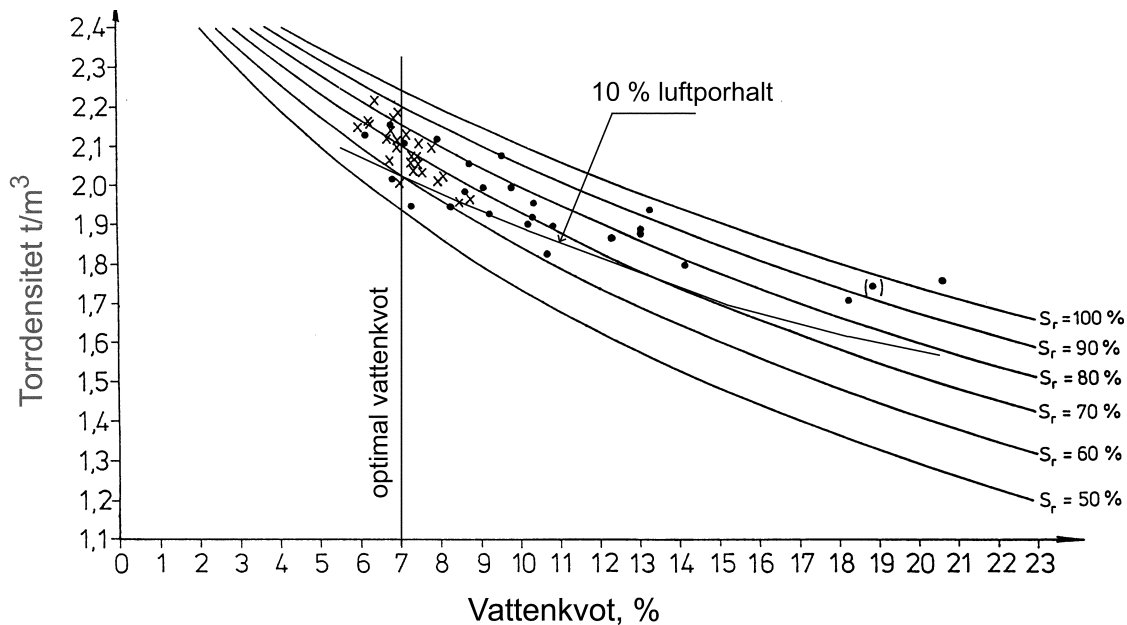


Figur 7. Sammanställning av resultat av luftporhaltsbestämningar i Vinninge, Boxholm samt Karlskrona.

Tidigare fältundersökningar i Kopparberg

I ifrågavarande sammanhang är resultaten av fältundersökningar utförda av Vägverket vid ett vägbygge i Kopparberg i slutet av 1980-talet av stort intresse [9]. Vid utläggning och packning av sandig, siltig morän vid vattenkvoter mellan 6 och 21 % (optimal vattenkvot vid tung instampning ca 7 %) erhöles genomgående luftporhalter under 10 %. Figur 8 är hämtad från Kopparbergsrapporten. I det ursprungliga diagrammet har gränslinjen för luftporhalten 10 % lagts in och som synes ligger mätvärdena med några få undantag över denna linje.

För packningen användes en 10-tons traktordragen vibrationsvält. Vid höga vattenkvoter ökades lagertjockleken från 0,7 m (angett i den då gällande packningstabellen) till 1,0 m. Detta med motiv att bl.a. minska uppbyggnaden av portryck vid packningen. Trots den stora lagertjockleken låg luftporhalterna efter packning normalt under 10 %.



- Medelvärde torrdensitet och vattenkvot in situ enl. Troxler
 - × Maximal torrdensitet och optimal vattenkvot från proctorpackning
- S_r = vattenmättnadsgrad

Figur 8. Uppmätta torrdensiteter och vattenkvoter enligt Troxler i fält samt data från inpackningsförsök i laboratorium. [9]

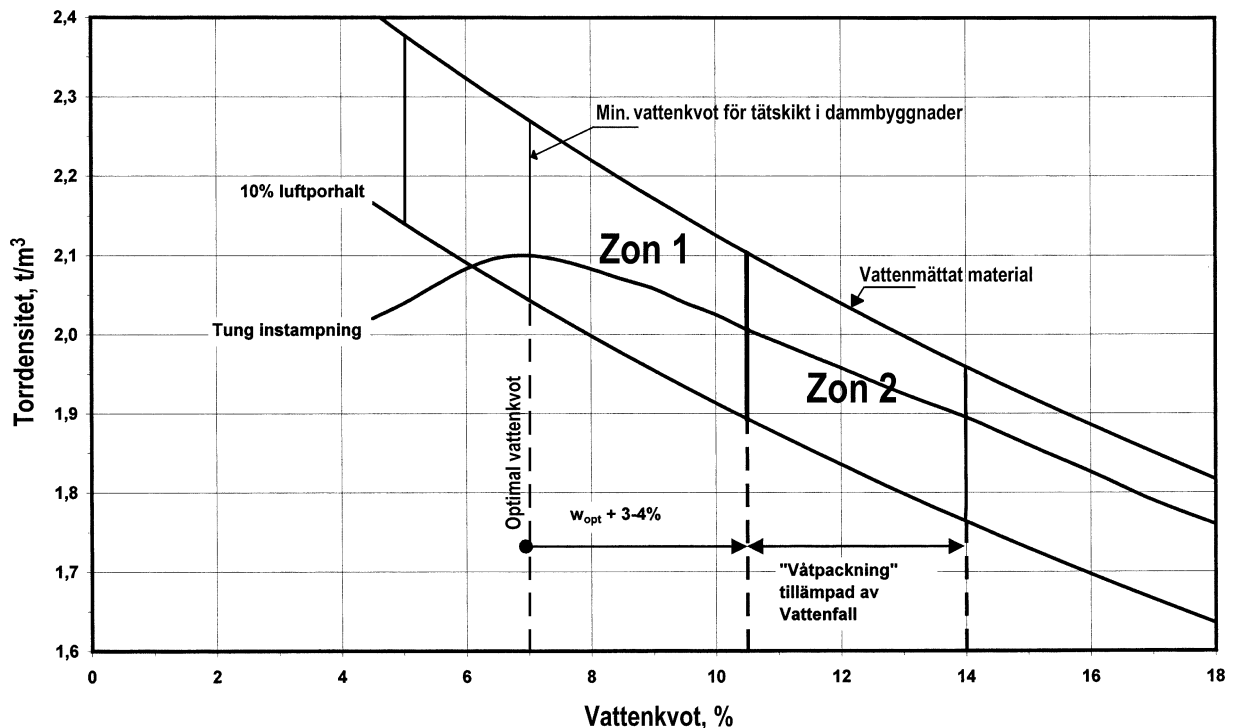
Slutsatser

De här redovisade resultaten av svenska och utländska undersökningar och erfarenheter indikerar att bestämningar av luftporhalten synes utgöra en acceptabel metod för resultatkontroll vid jordpackningsarbeten. Genom att instampningsprov inte erfordras erhålls ett enklare och billigare provningsförfarande än för resultatkontroll baserad på bestämningar av packningsgraden. Med de i Sverige ofta förekommande variationerna i materialgraderingar behövs ett relativt stort antal instampningsprov för att få fram tillräckligt exakta packningsgradsvärden. Utgår man från den grova uppskattningen att det är önskvärt med ett instampningsprov för var femte densitetsbestämning kommer man till att luftporhaltsbestämningar skulle kosta ungefär hälften så mycket som resultatkontroll baserad på packningsgradsbestämningar.

Krav på maximal vattenkvot

Kravet på maximal luftporhalt bör kompletteras med krav avseende maximal vattenkvot, eftersom höga vattenkvoter leder till stora konsolideringssättningar. Lämplig maximal luftporhalt och maximal vattenkvot kan lämpligen visas i diagramform, jämför figur 6.3 i handboken Packning [7], här återgiven som figur 9. Samma princip har tillämpats i de anvisningar för jorddammspackning, RIDAS, som kraftföretagen gett ut [8]. Dessa anvisningar är under revidering, vilken kommer att göras i samarbete med arbetsgruppen. I RIDAS anges en maximal vattenmättnadsgräns i enlighet med en tidigare tillämpad praxis. Arbetsgruppen föreslår att man istället anger en maximalt tillåten luftporhalt.

Diagrammet figur 9 har här kompletterats med ytterligare uppgifter angående vattenkvotens inverkan. Detta diagram gäller närmast blandkorniga jordar.



Figur 9. Packningskriterier – maximal luftporhalt och maximala vattenkvoter.

Zon 1 i figur 9 omfattar de vattenkvoter för vilka inga liggstider erfordras, vilket för normalt förekommande moräner betyder att vattenkvoter upp till 3 – 4 % över den optimala möjliggör tillfredställande sättningsfrihet även utan liggstider.

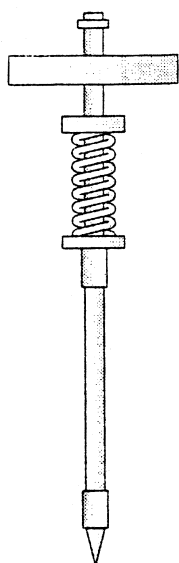
Vid vattenkvoter inom zon 2 fordras liggstider av varierande längd för att undvika alltför stora konsolideringssättningar efter konstruktionens färdigställande. Den första delen av zon 2, med vattenkvoter mellan 4 och 7 % över den optimala vattenkvoten motsvarar den zon, som var aktuell vid så kallad ”våtpackning” av morän, en metod som tillämpades av Vattenfall med goda resultat vid ett antal dammbyggen främst under perioden 1950 – 1970. Packningen utfördes i detta fall med tung bandtraktor med lagertjocklekar omkring 25 cm. Efter en tillräckligt lång konsolideringsperiod erhöles packningsgrader, som normalt översteg 95 % i kombination med låg permeabilitet.

Vid de vägbyggen, som utförts med moränmaterial med höga vattenkvoter, har som ovan påpekats, den av Vattenfall tillämpade metoden med traktorpackning av relativt tunna lager inte tillämpats. Vid de utförda bankfyllningarna i Kopparberg tillämpades lagervis utfyllning och därefter packning med vibrationsvält.

En hänvisning kan också göras till fältundersökningar utförda i Borgafjäll, Västerbotten, avseende sommar- och vinterbyggda vägbankar [10]. Två olika bankmaterial undersöktes, en grusig och en siltig morän, båda utlagda med dumper och utplanerade i 0,4 m tjocka lager med en 18 tons bandtraktor. Packningen utfördes med en vibrationsvält av typ Dynapac CA 30 med en linjelast av 29 kN/m. Vinterbanken, bestående av siltig morän, hade en vattenkvot som i stor utsträckning låg avsevärt över den för packning optimala. I övrigt låg vattenkvoterna relativt nära de optimala.

Lämpliga metoder för lagervis utläggning och packning av blandkorniga och finkorniga jordar med höga vattenkvoter är bl.a. beroende av det använda materialets gradering och aktuella vattenkvot samt även beroende av de aktuella klimatförhållandena (nederbörd, temperatur). Vid låga vattenkvoter inom zon 2 har ytorna normalt en viss kör- och packbarhet, som minskar med ökande vattenkvot.

Möjligheterna att vid behov lägga ut exempelvis våta moränmaterial har underlättats av användning av dumprar med drivning på samtliga hjul, vilket avsevärt förbättrat möjligheterna att trafikera och transportera relativt våta massor. Ett hjälpmedel för planering av arbeten med sådana dumprar är en av Volvo utvecklad penetrometer, figur 10, med vars hjälp ytans framkomlighet kan undersökas.



Figur 10. Penetrometer från Volvo.

Generella regler som anger möjlig användning av dumprar för massornas utläggning kan i varje fall med dagens kunskaper inte anges.

Det utlagda materialets packning inom zon 2 har i praktiken utförts såväl med traktordragna som med självgående vibrationsvältar. Även i dessa fall varierar framkomligheten främst beroende på den aktuella vattenkvoten. Observera att även vinterförhållanden (frysning av materialen) i vissa fall kan vara till fördel för de olika maskinernas framkomlighet.

Vid mycket höga vattenkvoter erhålls ytor som normalt varken är kör- eller packbara. I praktiken har sådana bankar lagts ut – oftast vid mindre vägbyggen. Efter en lång liggtid uppnår även sådana bankar en acceptabel sättningsfrihet och bärighet.

En klar minskning av erforderliga liggtider och även förbättrade förhållanden för materialens utläggning och packning kan erhållas genom inläggning av dräneringslager, se ATB VÄG [1], tabell E 7.1-1.

Praktiska tillämpningar och uppföljningar med avseende på de i ovanstående tabell föreslagna åtgärderna är mycket önskvärda. För att verifiera de angivna liggtiderna bör uppföljningarna bl.a. omfatta sättningsmätningar.

Även frågan om vilka metoder och maskintyper, som är lämpliga för lagervis utbredning och packning av blandkorniga och finkorniga jordar med höga vattenkvoter (tillhörande zon 2) skulle behöva ytterligare studeras.

5. YTTÄCKANDE PACKNINGSKONTROLL

De först introducerade systemen för yttäckande packningskontroll var Dynapacs Compactometer och Bomags Terrameter. Compactometern registrerar ett CMV-värde, som anger ett relativt värde på underlagets motstånd (respons).

Terrametern registrerar ett Omega-värde baserat på den till underlaget tillförda energin. Jämförande prov har resulterat i en god korrelation mellan CMV- och Omega-värdena, där CMV-värdet 1 ungefär motsvarar Omegavärdet 10.

En god relation har på grovkornig, fridränerande jord erhållits mellan CMV och ytans deformationsmodul E_{v2} bestämd genom statiska plattbelastningsförsök. Detta ligger till grund för de svenska packningsbestämmelserna gällande vägöverbyggnader, som inledningsvis nämnts numera får utföras med yttäckande packningskontroll (YPK) kombinerad med kontrollprov med statiska plattbelastningsförsök.

I tyska packningsanvisningar [11], [15] anges, i överensstämmelse med de i Sverige erhållna resultaten, en god överensstämmelse mellan värden registrerade medelst YPK och ytans bärighet bestämd genom statiska belastningsförsök, när det gäller grovkornig jord med en största finjordshalt av 5 %.

För jordmaterial med en finjordshalt mellan 5 och 15 % påverkas YPK-värdet (CMV respektive Omega) av jordmaterialets vattenkvot vid vattenkvoter över den optimala. Vid ännu högre finjordshalter måste vattenkvoten ligga klart under den optimala för att YPK-värdet inte ska påverkas. I princip är alltså vid vattenkvoter över den optimala, YPK-värdet inte direkt användbart för registrering av densitet och alltså inte direkt användbart för packningsgradkontroll.

Observera att man i Tyskland i detta fall tillämpar lätt instampning, som ger en något högre optimal vattenkvot än tung instampning.

De svenska erfarenheterna av CMV-mätningar på grovkorniga väg- och flygfältsöverbyggnader har i stort sett varit positiva. Detsamma gäller användningen på sprängstensfyllningar exempelvis vid flygfältsbyggen.

För fyllningar av sprängsten och andra mycket grova material är ytavvägning en användbar och lämplig metod, som närmare har beskrivits i handboken Packning [7]. För CMV-mätningar på sprängstensfyllningar kan ett inledande fältförsök omfattande en ytavvägning och samtidiga CMV-mätningar med fördel tillämpas för att fastställa lämplig nivå för fortsatta kontinuerliga CMV-mätningar. Ytavvägningsmetoden har närmare behandlats i en tysk artikel [12].

När det gäller CMV-mätningar på blandkorniga och finkorniga jordmaterial har vid höga vattenkvoter i regel konstanta, i många fall även något sjunkande CMV registrerats, vilket bekräftar de ovannämnda tyska erfarenheterna av de svårigheter som konstaterats vid höga finkornhalter och vattenkvoter. Någon direkt korrelation mellan CMV och övriga packningsresultat har inte heller konstaterats vid tidigare utförda fältundersökningar med morän [9], [10] och [14] samt lermorän [13]. De i vissa fall sjunkande CMV kan förklaras av att porvat- tentryck byggs upp då jorden vibreras.

Inte heller vid de senast utförda proven i Vinninge, Boxholm och Karlskrona har några entydiga samband mellan CMV och bärlighet/densitet/luftporhalt erhållits. Vid dessa prov kan underliggande lagers bärlighet i vissa fall ha inverkat.

Ett problem med CMV-mätningar på bland- och finkorniga material med höga vattenkvoter är den bristande mätnoggrannheten i det låga mätregistret – ofta ligger CMV omkring 3 à 4 för de material och vattenkvoter det här är frågan om.

CMV-mätningar kan däremot vara till god hjälp för en allmän kartläggning av ytans bärlighet, som för blandkorniga och finkorniga jordmaterial i hög grad påverkas av vattenkvotsförhållandena. Man kan också effektivt upptäcka eventuella svaghetszoner i fyllningsmassor eller i den naturliga undergrunden.

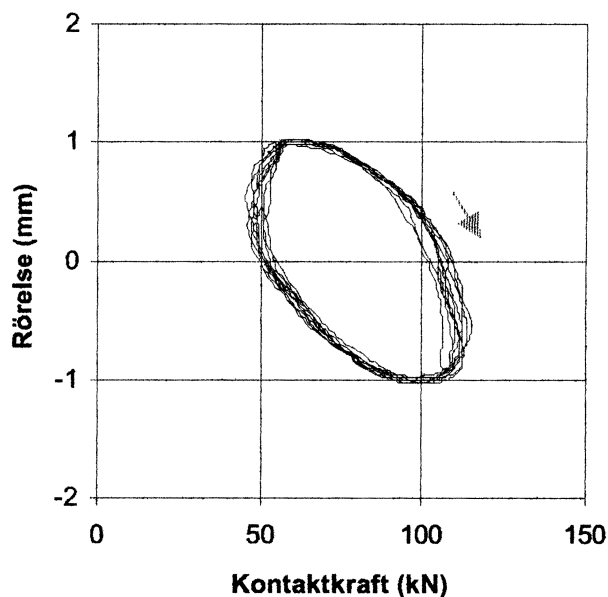
Utveckling av metoder för yttäckande packningskontroll

Den av Geodynamik lanserade oscillerande välten har bl.a. den fördelen att de till omgivning- en överförda vibrationerna minskas. För oscillerande vältar utvecklades en packningsmätare av samma typ som Compactometern, som i detta fall anger ett OMV-värde.

Bomag har nyligen introducerat en ny typ av packningsmätare som registrerar ett E-modul- värde Evib angivande underlagets bärlighet baserat på den med packningsmätaren bestämda dynamisk kraften mot markytan dividerad med ytans deformation. Man får alltså fram en s.k. deformationsmodul och Bomag anger att ett generellt samband existerar mellan Evib och Ev2 bestämd genom statiskt plattbelastningsprov. Bestämningar av Evib fordrar simultana bestäm- ningar av vältens acceleration och den roterande excenterns läge, alltså två mätfunktioner.

I en relativt ny doktorsavhandling av Hartman [15] visas dock att något entydigt samband mellan Evib och Ev2 inte föreligger. Evib-värdet påverkas av vältens hastighet och i ännu högre grad av vältens amplitud, som avsevärt påverkar den mot markytan verkande kraften och därmed mätningens djupverkan.

Vid arbetsgruppens provningar i Karlskrona undersöktes på förslag av Geodynamik en modi- fierad packningsmätare av samma typ som Bomag utvecklat, ett utförande som Geodynamik tidigare bl.a. haft som beräkningsmodell. En undersökning gällde om man med en sådan mätare kunde särskilja mellan elastiska och plastiska deformationer av underlaget. På detta sätt skulle det vara möjligt att avbryta packningen, då de bestående plastiska deformationerna upphört och endast elastiska deformationer uppträdde. På grovkornig jord är det möjligt att särskilja de plastiska och elastiska deformationerna. Detta visade sig dock inte möjligt med de vibrationsförlopp, som registrerades med den modifierade packningsmätaren på finkornig jord.



Figur 11. Exempel på kraft/deformationsförlopp registrerat med modifierad typ av packningsmätare. Åttonde överfarten.

Med hjälp av registrerade signaler från givare från välten har kontaktkraften mot marken och trummans rörelse beräknats. Ett typiskt exempel på resultat från försöken i Karlskrona visas i figur 11. Figuren visar ett exempel på kraft/deformationsförlopp för 10 excentervarv vid åttonde vältöverfarten.

En erhållen styvhetsmodul k (MN/m) bestämd med den modifierade packningsmätaren ger en större mätnoggrannhet och även en bättre korrelation med luftporhaltvärdena och packningsgradsvärdena än CMV-värdena. Kan detta ytterligare verifieras öppnas möjligheter till användning av YPK även vid packning av blandkorniga och finkorniga jordmaterial också vid relativt höga vattenkvoter.

Fortsatta undersökningar med den ovannämnda typen av packningsmätare förefaller vara väl motiverade.

Ett tidigare förslag av Geodynamik att med hjälp av en packningsmätare av ifrågavarande typ konstruera en vält, som automatiskt ställer in optimala vältdata, verkar realistiskt. Ett steg i denna riktning kan vara ett vibrationssystem med steglöst reglerbar amplitud, som Dynapac visade som prototyp vid den stora byggmaskinutställningen i Paris, våren 2003. Här visade också Dynapac ett nykonstruerat PC-baserat vältmonterat registrerings- och dokumentationssystem.

Det förefaller som om vidare utveckling av packningsmätare och ”intelligenta” vältar skulle kunna ge goda resultat. Det kan också nämnas att Bomag introducerat en vibrationsvält som arbetar med vibrationer, som under packningens gång automatiskt kan ändra riktning från vertikala till horisontella. Den viktigaste applikationen verkar hittills vara asfaltbeläggningar.

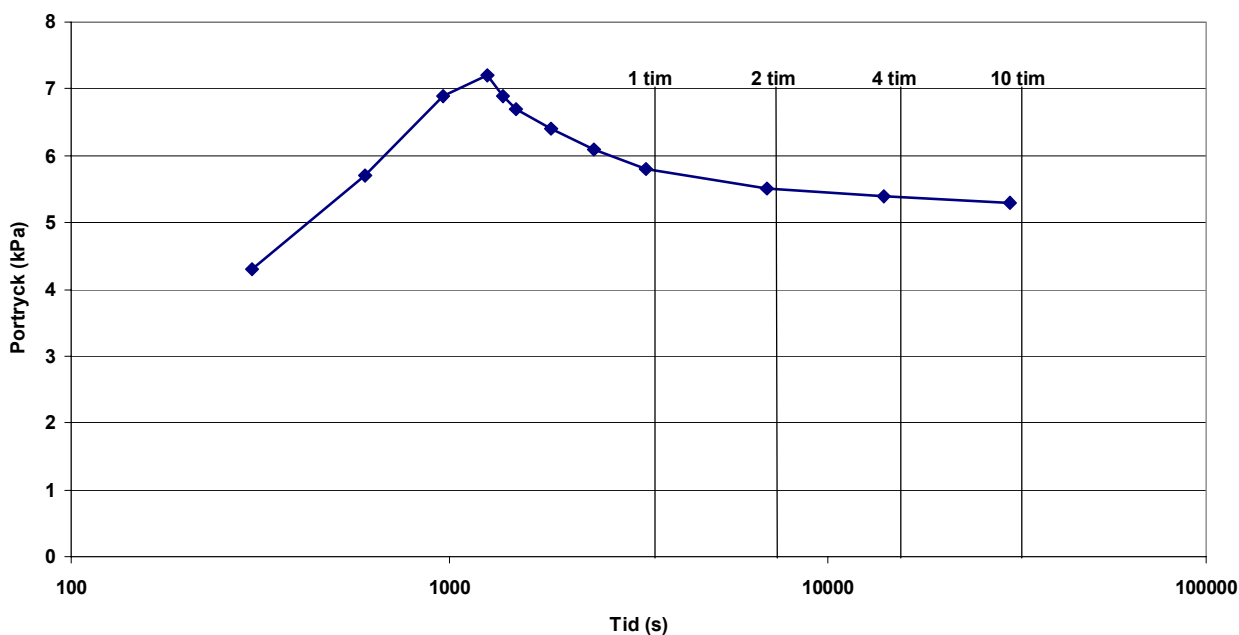
Amman har nyligen introducerat en ny typ av packningsmätare av samma typ som Bomags nya mätare, som även ingår i en ny ”intelligent” vält av ovan nämnd typ.

Såväl Hamm som Geodynamik och Landpac (avsnitt 9) har utvecklat GPS-system för installation på vältar som används vid jordpackningsarbeten. Man använder satellitbaserade positioneringssystem med mottagning av referensinformation via radio. På en dataskärm får vältföraren information om vältens position och utsättning av längdsektion och sidoavstånd från väglinjen kan uteslutas.

6. MÄTNINGAR AV PORVATTENTRYCK

Vid Vinningeförsöken uppmättes med portrycksmätare av fabrikat BAT en väsentlig ökning av porvattentrycket vid ökat antal överfarter. Det uppkomna porvattentrycket halverades i detta fall på ca 2 timmar och var nere i ursprungsvärdet efter 8 – 10 timmar, figur 12. Porvattentryckets inverkan på packningsförlopp är ett i många avseenden outforskat område. Anledningen till att ett ökat porvattentryck kan försvåra en pågående packningsprocess är att tryckökningen i ytterlighetsfallet leder till ”liquefaction” (övergång till vätskeform), varigenom jordmaterialets skjuvhållfasthet kraftigt minskar, vilket förklarar att exempelvis moränmaterial vid ökande porvattentryck blir mer eftergivliga och fjädrande.

Uppehåll i packningsarbetet kan därigenom vara motiverade på blandkornig och finkorniga jordmaterial. I första hand kan en förbättrad bärighet och framkomlighet uppnås och genom en minskning av porvattentrycken även en ökning av packningsgraden. Vid de utförda packningsförsöken har, exempelvis efter en natts uppehåll och fortsatt packning, en relativt marginell packningsgradsökning konstaterats. Det verkar vara frågan om en ökning av storleksordningen någon eller några procent. Här har det dock varit fråga om blandkornig jord med relativt hög vattenkvot och mer omfattande undersökningar av denna fråga vore önskvärda.



Figur 12. Portryckshöjning vid vibrationsmätning.

När det gäller eventuella fördelar med längre eller kortare avbrott i packningsarbetet kan erinras om den efterpackning som i vissa fall tillämpats, när det gällt vinterpackade, helt eller delvis frusna bankmaterial, som efter upptining efterpackats [7]. Med tanke på att uppnå största möjliga djupverkan i de ofta relativt höga bankar det här ofta är frågan om bör man i dessa fall använda så tunga vibrationsvältar som möjligt.

7. BÄRIGHETSMÄTNINGAR MED LÄTT FALLVIKT

Den i Tyskland utvecklade lätta fallvikten, figur 13, har visat sig möjliggöra snabba och enkla bärighetsbestämningar utförda till relativt låga kostnader. Metoden har normerats i Tyskland [16]. Lastplattan med normalt 300 mm diameter träffas av en 10 kg tung fallvikt. Stöten tas upp av ett fjäderelement, varigenom den dynamiska belastningen verkar under en längre tid (18 ms) än vid en odämpad stöt. Den lätta fallvikten ger en dynamisk belastning av ca 7 kN.

Vid jämförande bärighetsbestämningar utförda med lätt fallvikt och statisk plattbelastning på olika typer av jordmaterial har inga generellt gällande samband konstaterats [7]. På bankfyllningar bestående av blandkorniga och finkorniga jordmaterial med relativt låga bärigheter erhöles dock bärigheter av samma storleksordning. Som riktvärde har sambandet: $E_{vd} \cong 0,7$ à $1,2 E_{v2}$ angetts [7]. På grovkorniga jordmaterial ger de lätta fallviktsmätarna en lägre deformationsmodul än statiska plattbelastningsprov. I Tyskland har sådana material riktvärdet $E_{vd} \cong 0,5 E_{v2}$ angetts [7]. I båda fallen beräknas E_{vd} enligt gällande anvisningar med utgångspunkt från en antagen effektiv djupverkan av 1,5 gånger plattans diameter, d.v.s 0,45 m.



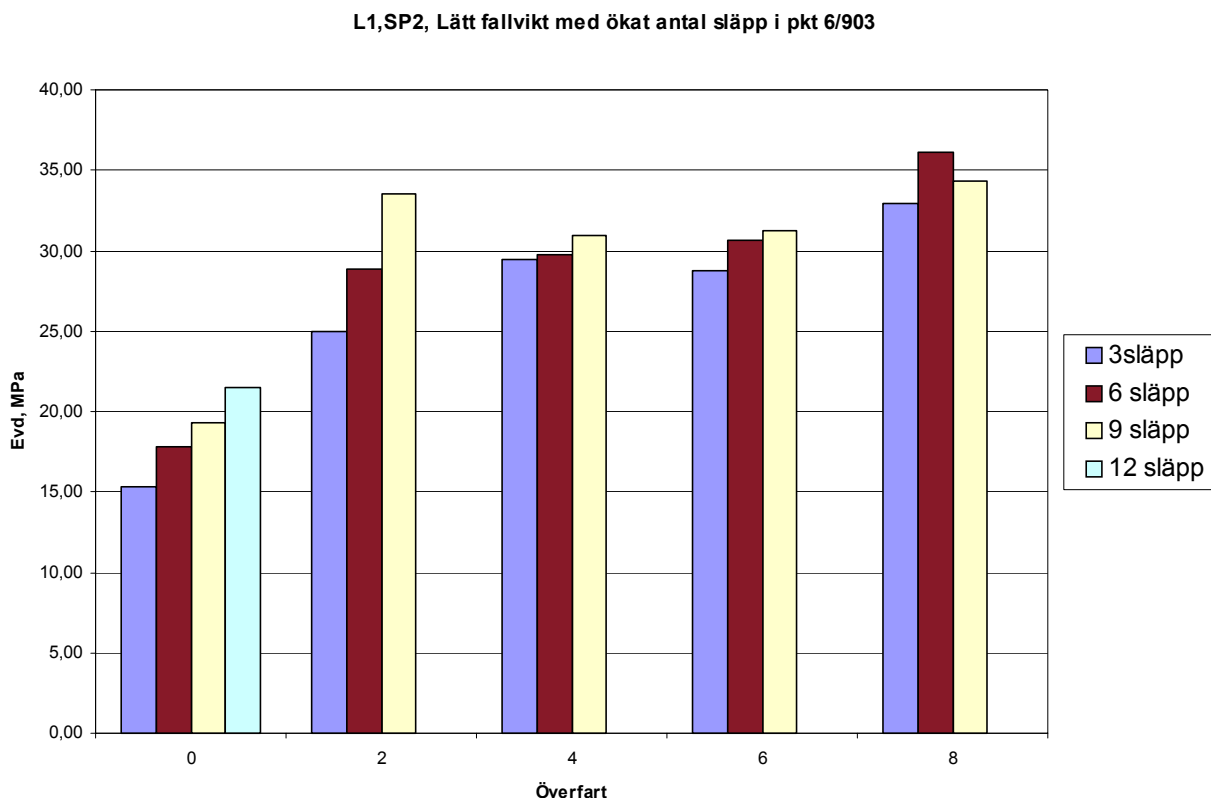
Figur 13. Lätt dynamisk fallvikt.

Vid höga bärighetsvärden, exempelvis på bärlagerytor, blir den lätta fallvikts mät noggrannhet på grund av de små deformationerna mindre god. I detta fall rekommenderas tyngre fallviktsmätare, som ett bättre alternativ till statistiska belastningsprov. På jordmaterial med lägre bärighetsvärden verkar det troligt att statisk plattbelastning och den lätta fallvikten skulle ha ungefär samma djupverkan, då man har samma plattstorlek och uppnår ungefär samma bärighetsvärden.

Enligt de tyska normerna görs mätningen med den lätta fallvikten efter tre inledande slag mot markytan genom beräkning av medelvärdet erhållet vid de tre följande slagen. Detta förfarande har följts vid arbetsgruppens fältundersökningar. Vid arbetsgruppens undersökningar har i vissa fall mätvärdet vid slag 3, 6, 9 och 12 registrerats. Vid ökande antal slag har som regel en mindre ökning av Evd-värdet erhållits men differenserna har varit begränsade, se diagrammet figur 14.

Det förefaller motiverat att införa en svensk norm för mätningar med den lätta fallvikten, men ingenting talar för att därvid gå ifrån de tyska anvisningarna.

Vid arbetsgruppens fältundersökningar i Vinninge erhöles vid vattenkvoter mellan 10 och 12 % Evd-värden som i medeltal uppgick till ca 4 MPa. Som medeltal av två statistiska plattbelastningsprov erhöles samma värde.



Figur 14. Exempel på resultat av bärighetsmätningar med lätt fallvikt. Ökande antal slag (släpp). Lager 1, spår 2, Boxholm.

I Boxholm erhöjls med de varierande materialgraderingarna Evd-värden mellan 3 och 10 MPa.

I Karlskrona erhöjls med det avsevärt mera leriga materialet med ca 15 % vattenkvot Evd-värden mellan 20 och 30 MPa. Här kan också underlagets höga bärlghet, ca 40 MPa, ha inverkat.

Mätningar med lätt fallvikt gör det möjligt att snabbt få en uppfattning om t ex bankfyllningars och terrassytors bärlghet. Vattenkvotens stora inverkan på mätresultaten måste dock beaktas. Vattenkvoten kan snabbt ändras såväl vid nederbörd som vid uttorkning av jordmaterialet, som kan gå mycket snabbt.

Kostnaden för ett bärlghetsprov med lätt fallvikt uppgår till ungefär en fjärdedel av priset för ett bärlghetsprov med statisk plattbelastning.

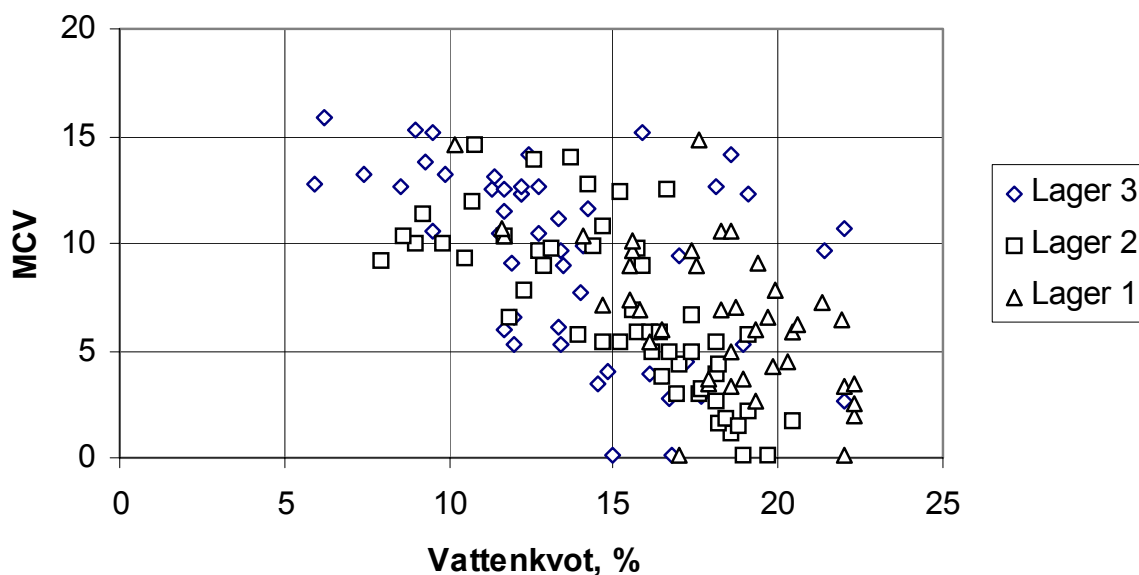
8. MCV-METODEN

I England har ett speciellt instampningsprov, MCV-provet, utvecklats [7]. MCV står för Moisture Condition Value. Genom bestämning av provets volymminskning vid ökat packningsarbete erhöjls ett MCV, som utgör ett mått på det minsta erforderliga packningsarbetet för det provade jordmaterialet vid den aktuella vattenkvoten.

Metoden har sedan ett antal år tillämpats vid ett antal projekt i Skåne, där lermoräner i stor omfattning använts som bankfyllningsmassor vid bl.a. väg- och järnvägsbyggen. Vid byggnad av Yttre Ringvägen i Malmö framkom att vid MCV under 6 – 7 var materialet så blött och eftergivligt att vältning inte var möjlig. Vid MCV över 10 – 14 var materialet så svårpackat att normalt tillgänglig packningsutrustning inte gav tillräckligt effektiv packning. På lermorän har sålunda MCV-metoden visat sig ge en god uppfattning beträffande materialets lämplighet och packbarhet vid den aktuella vattenkvoten.

Vid arbetsgruppens undersökningar har ett antal MCV-prov utförts, främst i Boxholm på det här undersökta blandkorniga materialet av typ sandig, siltig morän. Vid dessa prov framkom inga mer exakta zongränser varken avseende högsta eller lägsta lämpliga vattenkvoter, figur 13. För i Sverige normalt förekommande blandkorniga jordmaterial, oftast moränmaterial, förefaller MCV-provet enligt de utförda fältförsöken sålunda vara av begränsat värde. Ett problem vid tolkningen av de i figur 15 visade värdena är dock att det undersökta materialet hade så varierande kornfördelning.

Ingående undersökningar av MCV-metoden ingår i det doktorsarbete Per Lindh vid SGI har under arbete vid Lunds Tekniska Universitet och som avslutades våren 2004. Dessa undersökningar kommer att tillföra ytterligare kunskaper om MCV-metoden och dess möjligheter vad gäller olika typer av jordmaterial.



Figur 15. Resultat av MCV-bestämningar med material med olika vattenkvoter vid undersökningarna i Boxholm.

9. PROV MED "IMPACT ROLLER"

Vägverket Produktion har inlett ett samarbete med det Brittiska/Sydafrikanska företaget Landpac Ground Engineering Ltd avseende prov med vältypen "Impact roller". Dessa har antingen tre-, fyra- eller femkantiga valsar, som genom valsarnas utformning genererar stötar mot markytan. Vältypen som började utvecklas i Sydafrika redan på 1950-talet bl.a. med tanken på att få fram en vältyp lämplig för djuppäckning av de löst lagrade "collapsible soils" (bestående av fin sand eller silt kemiskt sammanbunden av kalk eller salt), som förekommer bl.a. i Sydafrika. Den goda packningsverkan, som uppnåddes har lett till användning även på andra typer av jordmaterial bland vilka nämnts sand och kohesionära material med höga vattenkvoter.

På en dataskärm kan föraren avläsa uppmätta värden på underlagets respons mot vältrummans stötar. Genom exempelvis statistiska provbelastningsprov kan man fastställa en lämplig miniminivå för ytans bärighet, som sedan kan kontinuerligt följas upp.

Det kan även nämnas att man på Arlanda flygplats använde en "Impact roller" med bra resultat somrarna 2001 och 2002 för att bryta upp landningsbanor av betong, som därefter ersattes av asfaltbeläggningar.

Sommaren 2003 genomförde Vägverket ett fältförsök med packning av en bankfyllning bestående av moränmaterial med en "Impact roller" vid ett vägbygge på E4 nära Örkelljunga. Resultaten redovisades vid VTIs årliga Transportforum i Linköping i januari 2004. En god djupverkan konstaterades.

10. COMPBASE

Sedan några år har Dynapac introducerat en Windowsbaserad databas kallad CompBase i första hand baserad på packningsprov utförda i företagets jordpackningshall vid fabriken i Karlskrona. Med utgångspunkt från aktuell materialtyp - sprängsten, grus, sand, silt, lera, förstärkningslager eller bärlager - får man genom datasystemet fram uppgift om för ändamålet mest lämplig maskintyp. Man får också fram uppgift om lämplig arbetshastighet samt yt- och volymkapacitet för maskinen ifråga. CompBase kan vara till god hjälp vid planering och utförande av jordpackningsarbeten.

Den tabell, som anger största lagertjocklekar för olika typer av packningsmaskiner och jordartstyper vid utförandekontroll, överensstämmer i den sista något modifierade utformningen i ATB VÄG med de värden som CompBase anger för de olika jordmaterialen.

Önskemål har framkommit om vissa kompletteringar av CompBase. Speciellt för packning av blandkorniga och finkorniga jordmaterial (silt och lera) vore det mycket önskvärt om CompBase även omfattade några alternativ med packning vid högre vattenkvoter än den optimala. I dessa fall kan, som tidigare visats, det erforderliga packningsarbetet minskas.

Det kan påpekas att i CompBase återfinns för alla provade jordmaterial instampningsvärden baserade på såväl tung som lätt instampning.

En önskvärd komplettering av CompBase som diskuterats gäller provningar av rest- och överskottsmaterial, t ex krossat betongmaterial. Användning av sådana material blir mer och mer aktuell.

11. PACKNINGSANVISNINGAR

Packningsanvisningarna i ATB VÄG har till avsevärd del baserats på arbetet inom arbetsgruppen vad avser bl.a. resultatkontroll av vägöverbyggnader. Vad gäller den 1998 utkomna Anläggnings AMA finns en överenskommelse att i ATB VÄG införda ändringar även ska införas i Anläggnings AMA, men dessa ändringar har hittills ställts på framtiden.

Vägverket har planerat att för framtiden utforma sina kontrakt enligt AMA-modellen och som ett led i detta utarbeta en mall för Teknisk beskrivning för vägbyggen avsett som hjälp att utarbeta upphandling enligt AMA-modellen. Arbetet med utarbetandet av denna handling har efter ett längre avbrott återupptagits. Ansvarig är nu Klas Hermelin, Vägverket, Borlänge.

Förutom problemet med de delvis skilda packningsanvisningarna i ATB VÄG och Anläggnings AMA har vissa synpunkter framkommit på att vissa AMA-anvisningar delvis följer äldre inte längre tillämplig praxis och borde justeras.

Ett pågående arbete beträffande dammars konstruktion och utförande (RIDAS) berör även packningsfrågor och bör i detta avseende samordnas med andra packningsanvisningar.

12. LITTERATUR

- [1] ATB VÄG 2003. Kapitel E Obundna material. Vägverket.
- [2] *Fältförsök i Vinninge avseende packning och packningskontroll av morän.* Delrapport från Arbetsgruppen.
- [3] *Fältförsök i Boxholm avseende packning och packningskontroll av morän.* Delrapport från Arbetsgruppen.
- [4] *Försök i Dynapacs packningshall i Karlskrona avseende packning och packningskontroll av siltig lera.* Delrapport från Arbetsgruppen.
- [5] Nilsson, Å och Heiner, A: *Construction of a clay core of weathered volcanogenic material at the Mrica project, Indonesia.*
- [6] Babin, P, O'Riordan, N J och Phear, A G: *Optimisation of compaction control method for low to medium density chalk in large embankments.* Seminarium "Compaction of soils and granular materials", maj 2000, Paris.
- [7] Forssblad, L: *Packning – Handbok om packning av jord- och bergmaterial.* Svensk Byggtjänst, 2000.
- [8] RIDAS-FYLLNINGSDAMMAR. *Kraftföretagens riktlinjer för dammsäkerhet.* Kapitel 3.2. Svensk Energi, 2000.
- [9] Brorsson, I, Törnblom, H, Eriksson, L och Hartlén, J: *Kvalitetsprojekt Kopparberg – geotekniska erfarenheter.* Vägverket – Statens geotekniska institut, 1989.
- [10] Magnusson, O och Knutsson, S: *Deformationer i sommar- och vinterbyggd vägbank.* Avdelningen för geoteknik. Tekniska Högskolan i Luleå, 1992.
- [11] *Merkblatt über flächendeckende dynamische Verfahren zur Prüfung der Verdichtung im Erdbau.* Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Köln, 1993.
- [12] Reith, H m fl: *Schnellverfahren zur Bestimmung der Verdichtung durch Messung der Setzung.* Häfte 784, Forschung Strassenbau und Strassenbautechnik, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn, 2000.
- [13] Malmberg, B S: *Packad lermoräns hållfasthets- och kompressionsegenskaper.* Avdelningen för geoteknik. Tekniska Högskolan i Lund, 1983.
- [14] Lindh, E, Hermelin, K och Magnusson, O: *Fältförsök med metoder för resultatkontroll vid Hörby 1985.* Statens väg- och trafikinstitut, 1988.
- [15] Hartmann, K A: *Untersuchung zur Prognose von Anforderungswerten an die Beschleunigungsmesswerte der FDVK-Methode.* Zentrum Geotechnik, Technischen Universität München, 2002.

- [16] Technischer Prüfvorschrift für Boden und Fels im Strassenbau TP-StB, Teil B 8.3.
Dynamischer Plattendruckversuch mit Hilfe des Leichten Fallgewichtgerätes.
Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen., 1997.

Svenska Geotekniska Föreningen (SGF) bildades 1950 och består av drygt 700 enskilda medlemmar, med minst två års praktisk erfarenhet av geoteknik. Dessutom ingår ca 30 korporativa medlemmar i form av institutioner, högskolor, myndigheter, konsult- och entreprenadföretag samt tillverkare inom det geotekniska området.

SGF har till ändamål att främja utvecklingen inom geoteknik med grundläggning med föredrag, diskussioner och kommittéarbeten samt att samarbeta med svenska, nordiska och övriga internationella organ med liknande inriktning.

Föreningen företräder i Sverige den internationella föreningen, the International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE).

I SGF:s Rapport- och Notatserier utges föreningens metodbeskrivningar, monografier och dokumentation från konferenser, temadagar m.m.