

NORSK GEOTEKNISK FORENING
NGF-FOREDRAGET 1969

ORGANISKA JORDARTERS
GEOTEKNISKA EGENSKAPER

av

K. V. Helenelund

OSLO 1969
NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sida
INLEDNING	1
TORV	2
Allmänt	2
Klassifisering av torv	2
Konsistens och fibrighet	3
Anisotropi	5
Permeabilitet	6
Kompressibilitet	7
Konsolideringshastighet	8
Skärhållfasthet	10
Bärförmåga	12
GYTTJA OCH DY	15
Allmänt	15
Permeabilitet	16
Kompressibilitet	17
Skärhållfasthet	18
HUMUSHALTENS INVERKAN	20
SÄMMANFATTNING	22
SLUTORD	23
LITTERATURFÖRTECKNING	24-27
BILD 1-13	

INLEDNING.

Organiskt liv har under jordens urtid småningom spontant utvecklats ur enkla oorganiska grundämnen, kol, syre, väte och kväve, via aminosyror och om enkla bakterier påminnande sk. mikrosfärer. Under miljarderna år har det efter hand uppstått en häpnadsväckande formrik flora och fauna uppbyggd av bl. a. stora äggvitemolekyler med en struktur, som måhända representerar den noblaste arkitektur, som frambringats av naturen. Dessa växter och djur bryts efter sin livstid åter ned, uppgår i andra livsformer eller sönderfaller genom inverkan av mikroorganismer eller förbränning på nytt i enklare beståndsdelar, organiskt kol, humussyror, aminosyror osv. (Waksman 1936).

De organiska jordlagren, som har bildats genom anhopning av lämningar efter växter och djur, uppvisar på grund av den biologiska art- och formrikedomen synnerligen varierande sammansättning och struktur. Även om ett visst urval av typer uppkommer genom anpassningen till den lokala miljön, finner vi på varje växtplats ett flertal olika arter med varierande dimensioner, struktur och hållfasthet. Då jordlagrens humifiseringsgrad och humifiseringshastighet dessutom ofta varierar på olika djup är det uppenbart, att vi här har att göra med komplexa jordarter, som till sin uppbyggnad och i sina geotekniska egenskaper uppvisar extrema variationer.

I det följande skall några i de nordiska länderna förekommande typiska organiska jordarter och deras geotekniska egenskaper i korthet behandlas. De organiska jordarterna indelas härvid enligt sin uppkomstmiljö på konventionellt sätt i huvudgrupperna torv, gyttja och dy. Humusjord (mylla), som i regel blott bildar ett tunt ytskikt och som ur geoteknisk synpunkt har mindre betydelse, behandlas ej. Dessutom skall den organiska substansens inverkan på de geotekniska egenskaperna hos blandjordarter i korthet diskuteras. Det måste dock framhållas, att våra kunskaper om de geotekniska egenskaperna hos de organiska jordarterna i många avseenden ännu är bristfälliga och att en omfattande grundforskning för att utreda dessa egenskaper vore av behovet påkallad.

TORV.

Allmänt.

Torv bildas på platser med högt grundvattenstånd och är vanligen uppbyggd av växter med förmåga att upptaga stora mängder vatten. Som exempel kan nämnas, att *Sphagnum fuscum* har en vattenbindningsförmåga motsvarande ca. 20 gånger vikten av växtens torrsubstans. Denne vätskemängd är delvis innesluten i växtens celler, delvis belagen i växtens porutrymmen. Vattenbindningsförmågan minskas med stigande humifiseringsgrad och i en bestämd torvtyp finner man därför i regel ett klart samband mellan vattenhalten och torvens humifiseringsgrad (Kulakow 1947, Kivinen 1948).

I det levande ytskiktet står växterna vanligen i vertikalled, men när växten vissnar lägger den sig horisontalt. Flere växtlager packas efter hand på varandra och det bildas ett anisotropt torvlager, där växtfibrerna huvudsakligen har horisontal riktning. Då permeabiliteten samt hållfasthets- och deformationsegenskaperna i fiberriktningen avviker från motsvarande egenskaper i andre riktningar, kommer denna strukturella anisotropi att få viktiga konsekvenser för torvens konsoliderings-, deformations- och hållfasthetsegenskaper.

De svagt humifiserade växtfibrerna har i motsats till den amorfa, mera humifiserade torvsubstansen en betydande draghållfasthet. Med tanke på hållfasthetsegenskaperna är det därför ändamålsenligt att uppdelas den fasta torvsubstansen i två faser: fiberfasen, bestående av långsträckta växt-element, och den amorfa torvfasen, bestående huvudsakligen av kolloidala partiklar. Svagt humifiserad torv innehåller främst fiberfas, medan starkt humifiserad torv innehåller mest kolloidal torvfas och blott smärre rester av fiberfasen. Den relativa mängden av respektive faser förändras kontinuerligt vid stigande humifiseringsgrad.

Klassificering av torv.

Många förslag har framförts för klassificering av torv för olika ändamål. De ur byggnadsteknisk synpunkt mest lämpliga torde vara von Posts (1921) klassificering och den kanadensiska Radforth-klassificeringen (MacFarlane 1958). Bägge omfattar förutom själva jordartsklassificeringen även klassificering av myrmark ur botanisk och topografisk synpunkt, bl.a. med

hänsyn till dräneringsmöjligheterna. En detaljerad botanisk klassificering är ur byggnadsteknisk synpunkt sällan nödvändig. Då vissa geotekniska egenskaper dock varierar beroende på torvens botaniska ursprung, är ett omnämnande av de i torven ingående viktigaste fiberväxterna dock att rekommendera. I enklare fall kan man nöja sig med att fastställa huruvida det är fråga om mosstorv, starrtorv eller blandtorv (t. ex. Sphagnumtorv, Carex-torv eller SC-torv).

Von Fosts torvklassificering, enligt vilken torven kan karaktäriseras genom en enkel formel ($H_{1-10}B_{1-5}F_{0-3}R_{0-3}V_{0-3}$) synes tack vare sin överskådlighet vara att föredraga framom Radforth's 16 torvklasser. (Torven indelas enligt Radfort's system i tre huvudgrupper: amorf kornig torv, finfibrig torv och grovfibrig torv och varje huvudgrupp indelas ytterligare i 4-7 klasser). Von Fosts humifiseringgrad (H) är ällmant känd och användes även i kombination med annan strukturklassificering. Vid praktisk tillämpning användes ibland en förenklad H-klassificering: råtorv (H_{1-3}), mellantorv (H_{4-6}) och svarttorv (dytorv, H_{7-10}).

Fibrigheten (F) avser i von Fosts klassificering egentligen mängden *Eriophorum vaginatum* fibrer. Det synes dock vara ändamålsenligare att i F-talet inkludera även övriga på torvens draghållfasthet inverkan fibrer. Utförda dragförsök tyder t. o. m. på möjligheten att sammenslå fiber- och rottråds mängderna (F+R) och sålunda ernå en ytterligare förenkling av klassificeringen. I det fall att torvens draghållfasthet uppmätts, kan F- och R-talen eventuellt ersättas med draghållfastheten (ton/m^2). Mängden av trärester (ved, V) är av intresse bl. a. vid tolkning av exceptionella mätvärden, som kan bero på stubbar el. dyl. hinder. Då torvens vattenhalt i regel bestämmas separat, är det ofta bättre att ersätta blöthetsgraden (B) med den exaktare, laboratoriebestämda vattenhalten.

Konsistens och fibrighet.

Torvens konsistens har ibland bestämts såsom för vanliga kohesionsjordarter, dvs. med användande av Atterbergs konsistensgränser (Casagrande 1966). Denne metod lämpar sig rätt väl för omrörd humifierad torv (svarttorv), men metoden är däremot föga lämplig för fibrig torv. För den sistnämndas del kunde en bestämning av den relativa tätheten eller komprimeringsgraden ifrågakomma, t. ex. på basen av torvens torra volymvikt

(Skaven-Haug 1968). Dessa metoder tillämpas ju vanligen i friktionsjordarter, vilket ger en antydning om, att svagt humifierad torv beträffande vissa egenskaper påminner om friktionsjord, medan svarttorv däremot påminner om typisk kohesionsjord. Detta faktum visar även, att vi beträffande torv har att göra med en jordart med synnerligen varierande egenskaper.

Svårigheterna med att tillämpa vanliga konsistensmetoder för torv antyder samtidigt ett behov av att utveckla speciella metoder för denna jordart. I själva verket kan von Posts metod för bestämning av humifieringsgraden betraktas såsom en dylik speciell konsistensmetod, eftersom man här tar hänsyn till mängden och konsistensen av såväl den mellan fingrarna utpressade massan som den i handen kvarblivna torvsubstansen. Man kan säga att metoden delvis motsvarar ett snabbt manuellt kompressionsförsök, varför den samtidigt även ger en bild av torvens permeabilitet.

Torvens struktur och fibrighet kan undersökas visuellt, eventuellt med tillhjälp av mikroskop. Vill man ha ett kvantitativt mått på fiberstyrkan, kan man utföra dragförsök eller balkförsök. Granskar man brottytan efter ett dylikt försök finner man, att en del torvfibrer brustit, medan andra dragits ut ur den omgivande torvmassan. Antages längden av en i dragkraftens riktning belägen fiber vara l och fiberdiametern $2r$, blir största mantelmotståndet vid fiberhalvans utdragning πrls , då s betecknar skärhållfastheten hos den omgivande torvmassan. Fiberstyrkan vid dragbrott är å andra sidan $\pi r^2 \sigma_d$, då σ_d är fiberns draghållfasthet. Den sk.kritiska fiberlängden (l_k), då fiberstyrkan är lika med maximala mantelmotståndet (Kelly og Tyson 1965), dvs. då sannolikheten för dragbrott är lika stor som sannolikheten för utdragning (mantelskarbrott), blir sålunda;

$$l_k = \frac{\pi r^2 \sigma_d}{\pi r s} = \frac{\sigma_d}{s} \cdot r \quad (1)$$

Den kritiska fiberlängden är alltså proportionell mot förhållandet mellan fiberstyrkan och skärhållfastheten. (Genom att mäta fiberstyrkan, längden hos den utdragna fiberhalvan och fiberdiametern kan skärhållfastheten s approximativt bestämmas).

Utförda dragförsök visar, att ett påtagligt samband råder mellan draghållfastheten och fibermängden. Då den vid vingborrförsök erhållna skärspannings-deformationskurvan i fibrig torv vanligen uppvisar flera maximioch minimipunkter, kan man få en viss uppfattning av torvens fibrighet även med ledning av vingborrförsök (jfr. bild 9).

Anisotropi.

Såsom ovan påpekats uppvisar torven en särpräglad anisotropi, som speciellt framträder i fibrig torv med låg humifiseringsgrad. Enligt en serie i olika riktningar utförda tryck- och dragförsök (bild 1 a) är t. ex. tryckhållfastheten i fibrig Sphagnumtorv ungefär lika stor i vertikal- och horisontalled. Draghållfastheten är däremot betydligt större i horisontal än i vertikal riktning. Förhållandet mellan tryckhållfastheten och draghållfastheten kan i horisontalled variera mellan 0.5 och 3, medan samma förhållande i vertikalled kan vara 2-3. Draghållfastheten har förutom genom direkta dragförsök även bestämts genom balkförsök, varvid böjdraghållfastheten befunnits vara ungefär lika stor eller något större än draghållfastheten enligt direkta dragförsök.

Skärhållfastheten är i de övre torvlagren vanligen större i vertikalled än i horisontalled (bild 1). Förhållandet mellan horisontala och vertikala skärhållfastheten synes emellertid öka med djupet och på större djup kan skärhållfastheten i horisontalled vara större än i vertikalled. Detta beror förmodligen på att humifiseringsgraden ofta tilltager med djupet och att det större vertikaltrycket samtidigt får ökad betydelse. I starkt humifiserad torv kan förhållandet mellan horisontala och vertikala skärhållfastheten förmodas ungefär motsvara förhållandena i lermark (NGI 1966).

Variationerna hos vid tryckförsök uppmätta deformationsmoduler framgår av bild 1 b. E_0 avser initialmodulen och motsvarar sålunda lutningen hos spännings-deformationskurvans initialtangens. E_2 avser åter sekantmodulen för spänningsintervallet $0 - \sigma_b/2$, då σ_b betecknar tryckhållfastheten. Porvattentrycksmätningar, som utförts i samband med balkförsöken visar, att tryckzonen i de horisontala torvbalkarna omfattat ca. $2/3$ och dragzonen ca. $1/3$ av balktvärsnittet och att E-modulen vid dragning varit ca. dubbelt större än vid tryck.

Den fibriga torvens anisotropi inverkar även på porvattentrycket. Detta framgår tydligt av bild 2, som visar resultaten från porvattentrycksmätningar i samband med vertikala och horisontala tryckförsök på 15x15x30 cm Sphagnum-torvprov. De vertikalt tagna torvproven uppvisar höga porvattentryck, medan porvattentrycket i de horisontala proven är obetydligt. Den markanta skillnaden beror uppenbarligen på att dragspänningarna vid vertikala tryckprov effektivt upptages av de horisontala torvfibrerna, medan draghållfastheten parallellt med fibrerna - vilken har avgörande betydelse vid tryckförsök på horisontala torvprov - är mycket mindre. Torvfibrerna motverkar sålunda i det förstnämnda fallet provets volymsutvidgning och detta medför en motsvarande ökning av porevattentrycket.

Permeabilitet.

Torvens vattengenomsläpplighet varierar i hög grad beroende på humifieringsgraden och belastningen. Detta framgår klart av bild 3, som visar några av resultaten från Hailikaris examensarbete om torvens permeabilitet. Råtorvens genomsläpplighet kan vara 10-1000 gånger större än permeabiliteten hos starkt humifierad svarttorv. Beträffande belastningens inverkan kan man notera, att redan en liten belastning avsevärt reducerar vattengenomsläppligheten. Liknande observationer har gjorts av Tveiten (1956), som fastställde, att på lämpligt sätt belastad mellantorv är användbar såsom tätningmaterial i jorddammar.

Permeabilitetsförsök med torvprov i olika riktningar har visat, att vattengenomsläppligheten i vågrät riktning i allmänhet är större än i vertikalled (MacFarlane 1959). Skillnaden mellan permeabiliteten i olika riktningar är störst i råtorv, medan skillnaden i svarttorv är obetydlig. Detta beror uppenbarligen på att de vågräta fibrerna underlättar strömningen i horisontal riktning i svagt humifierad torv. Skillnaden mellan permeabiliteten i omrörd torv och i naturlig ostörd torv framgår vid jämförelse mellan kurvorna i bild 3a og 3b; skillnaden är mest markant i mellantorv. Ett tydligt samband synes föreligga mellan permeabiliteten och den relativa kompressionen (bild 4).

Permeabilitetens beroende av belastningen kan approximativt uttryckas genom formeln

$$k = k_0 (p/p_0)^{-a} \quad (2)$$

där k_0 betecknar permeabiliteten vid belastningen p_0 och k är permeabiliteten vid belastningen p . Permeabilitetsindex a , som för lera kan vara av storleksordningen 0.3-0.7, är för torv betydligt större, ofta 2-4. Detta betyder, att permeabiliteten vid en fördubbling av belastningen kan minskas till en tiondedel av det ursprungliga värdet.

Kompressibilitet.

Torvens höga porositet och kompressibla struktur gör, att denne jordart uppvisar extremt hög kompressibilitet (Eggelsmann 1957). Porositetens inverkan åskådliggöres av bild 5, som visar kompressionen hos ödometerprov belastade med 1.0 kg/cm^2 . Humifiseringsgraden (h) synes icke ha någon större betydelse för kompressionens slutvärde. Däremot inverkar humifiseringsgraden tydligt på kompressionshastigheten, som är störst hos råtorv och som blir allt långsammare ju mera humifiseringsgraden stiger.

Vid de relativt låga belastningar, som förekommer på torvmark, är det ofta tillräckligt att vid sättningsberäkningar utgå från en på basen av ödometerförsök bestämd eller med ledning av torvens vattenhalt eller porositet uppskattad kompressionsmodul (bild 6). I de fall, då belastningsytan har liten utsträckning i förhållande till torvlagrets tjocklek, kan de horisontala deformationerna emellertid ge upphov till extra sättningar. Dessa deformationer motverkas av den horisontala fiberstrukturen som i fibrig råtorv är kapabel att upptaga betydande dragspänningar. De horisontala deformationernas betydelse ökar därför vid stigande humifiseringsgrad.

Ovannämnda fenomen kan observeras vid vanliga tryckförsök, där jordprovets sidoutvidgning icke är förhindrad. Ett i vertikalled taget fibrigt torvprov utvidgas mindre i sidled, eftersom de horisontala dragspänningarna överföres till torvfibrerna. Är torvprovet vattenmättat, upptages en stor del av belastningen av porvattnet. Väljes belastningshastigheten så, att torven hinner konsolideras, kan torvprovet komprimeras tills dess provets höjd blivit en bråkdel av den ursprungliga - utan att något skärbrott kan observeras. Humifiserad svarttorv uppför sig emellertid i detta avseende annorlunda och mera i överensstämmelse med normal kohesionsjord.

Definieras torvens deformationsmodul i enlighet med Janbus (1967) förslag såsom spännings-deformationskurvens tangentmodul, kan deformationsmodulens (M) beroende av effektivspänningen (σ) uttryckas genom formeln

$$M = m \sigma' \quad (3)$$

där modultalet m enligt Janbu främst är en funktion av jordartens porositet. Bild 7 visar modultalets variationer i olika torvjordarter enligt några i Finland utförda ödometerforsök. Ett visst samband synes existera mellan modultalet och torvens torra volymvikt. Spridningen av försöksresultaten är emellertid stor och någon olikhet mellan olika torvtyper kan icke noteras, med undantag av det faktum, att de tyngsta och minst kompressibla proven representerar starrtorv.

Flaate (1968) har utarbetat ett praktisk nomogram för approximativ bestämning av kompressibiliteten och den sannolika sättningen med beaktande av torvens vattenhalt och glödgningsförlust (specifika vikten har härvid antagits vara 1.5 ton/m^3 för det organiska och 2.7 ton/m^3 för det oorganiska materialet). De horisontala deformationernas andel av totalsättningen ökas, när säkerhetsfaktorn sjunker. En enkel metod att beakta denna andel är att sätta den sannolika totalsättningen $S = n \cdot S_c$, då S_c betecknar den enligt ödometerförsök beräknade sättningen. Värdet på koefficienten n uppskattas lämpligen på grundval av sättningsobservationer. Mustonen (1953) har från sättningsobservationer vid invallningsföretag med torrlägningsdammar på organiska jordarter funnit n -värden varierande mellan 1.35 och 2.40 (medeltal $n = 1.75$). För dylika dammar har rekommenderats n -värden på 1.5 - 2.0, när säkerhetsfaktorn är ca. 1.5 eller lägre.

Konsolideringshastighet.

Vid sättningsberäkning och analys av observerade sättningar har man ofta utgått från Terzaghis konsolideringsteori även då det gäller torvmark. Det har härvid upprepade gånger kunnat fastställas, att torvens konsolideringsförlopp icke följer denna teori, utan att sättningen i torvmark snarare synes domineras av "sekundära" tidseffekter. I brist på bättre metoder har man härvid fått nöja sig med en semiempirisk uppskattning baserad på vid ödometerförsök observerade tidsättningskurvor hos torvprov och på antagandet att konsolideringstiden är proportionell mot kvadraten på torvlagrets tjocklek. Vissa observationer tyder emellertid på att skikt-tjocklekseffekten i torvmark är mindre än i lera (Barden 1968).

Torvens konsolidering kan jämföras med en strain-hardening process, som normalt karakteriseras av en logaritmisk krypningslag, dvs. av att tid-deformationskurvan blir rätlinjig i halvlogaritmisk skala (Morton och Hearle 1962). Detta betyder, att deformationshastigheten är omvänt proportionell mot tiden. Yamada (1967) m. fl. har vid härledningen av sina teorier för den sekundära sättningen antagit, att deformationshastigheten är proportionell mot den resterande (framtida) sättningen. Man kan påvisa, att detta antagande i själva verket gäller för den senare delen av primärsättningen (exponentperioden), då portrycksisokronen har i det närmaste sinus- eller parabelform. Nämnade antagande innebär, att den sekundära sättningen skulle följa samme lagar som den senprimära sättningen, att den närmast vore att betrakta såsom en fördröjd sådan, föranledd av högvisköst porvatten, av finstruktur med låg permeabilitet eller helt enkelt av ett i förhållande till övrig mark starkare humifierat och därför långsamt konsoliderande jordlager.

Wilson, Radforth, MacFarlane och Lo (1965) har vid konsolideringsförsök med torv observerat två skeden, för vilka tid-sättningshastighetskurvan är rätlinjig i dubbellogaritmisk skala och sättningshastigheten sålunda omvänt proportionell mot en potens av tiden. Gränsen mellan de bägge perioderna, då sättningshastigheten snabbt avtar, är beroende av torvens porositet, torvskiktets tjocklek och belastningens storlek. En liknande perioduppdelning förekommer bl. a. i de av Brinch Hansen (1961) och Yamada (1967) föreslagna metoderna för kombinerad av primär- och sekundärsättningen.

Bardens (1968) metod bygger på en reologisk modell, där Terzaghis klassiska konsolideringsmodell kompletterats med ett icke linjärt Kelvin-element. Det sistnämnda ger ett strukturmotstånd, som i överensstämmelse med Taylors förslag antages beroende av deformationshastigheten. Då strukturmotståndet efter hand minskas och belastningen i stället upptas av effektivtrycket, blir strukturmotståndet proportionellt mot den resterande (framtida) sättningen. Sambandet mellan sättningshastigheten och restsättningen är i detta fall emellertid icke linjärt, utan förutsättes följa en empirisk potensfunktion.

Bardens teori innebär en parallellförskjutning av portalsisokronerna, icke endast under den egentliga sekundärsättningen, utan även under primärperioden. Detta synes överensstämma med de av författaren år 1951 funna ovanliga portalsisokronerna i torv (bild 8). Beträffande fibrig torv, där konsolideringen kan anses innebära drainering från en kolloidal torvfas till en fiberfas med grövre kanaler, kunde den av Barden (1960) föreslagna reologiska modellen eventuellt kompletteras genom seriekoppling till en liknande modell med andra reologiska konstanter, motsvarande finare prostruktur.

Skärhållfasthet.

Torvens odränerade skärhållfasthet bestämmes i regel med vingborrförsök eller tryckförsök. I humifierad torv, som till sina hållfasthetsegenskaper nära påminner om typiska kohesionsjordarter, synes dessa metoder även ge tillförlitliga värden. Beträffande fibrig torv synes förhållandena emellertid vara annorlunda. Dette framgår redan av den säregna formen hos de skärspännings-deformationskurvor, som erhålles ved vingborrförsök i fibrig torv (bild 9). Förekomsten av flera maximi- och minimivärden tyder på att något normalt skärbrott icke inträffar, utan att fibrerna böjes utanför vingperiferin för att senare delvis återgå till sitt ursprungliga läge (Helenelund 1967). Roterar vingen flera varv, såsom fallet är vid mätning av skärhållfastheten i omrört tillstånd, kan detta resultera i att det bildas ett hål runt vingborren, varvid torven sålunda helt pressats utanför vingperiferin (Wilson 1967). Man har även kunnat konstatera, att den med vingborr uppmätta skärhållfastheten är beroende av vingens dimensioner sålunda, att skärhållfastheten minskas, då vingdiametern ökar (MacFarlane 1961). Det bör även observeras, att rotationsaxeln vid vingborrförsök är lodrät, dvs. vinkelrät mot det horisontala fiberplanet, medan rotationsaxeln vid ett vanligt cirkulär cylindriskt markgjenombrott är vågrät, dvs. parallell med fiberplanet.

Beträffande tryckförsök måste man konstatera, att tolkningen av försöksresultaten ofta vållar svårigheter då det gäller torv (Hanrahan 1954, 1964, Fihlainen 1963). Detta beror delvis på torvens anisotropi, delvis på torvens kompressibilitet och de härmed sammanhängande stora deformationerna. Vid tryckförsök på vertikalt tagna torvprov erhåller man sålunda i fibrigt material vanligen inget tydligt skärbrott, varför brotlasten i brist på observerbar glidyta eller spänningsmaximum måste antagas motsvara en viss deformation,

t. ex. 10-15% relativ kompression. Vid tryckförsök på horisontalt tagna torvprov erhålles däremot i regel tydligt brott, antingen i form av dragbrott eller skärbrott med sned glidyta. Skärhållfastheten borde i detta fall bestämmas med tryckprov i olika riktningar med beaktande av brottytans riktning i förhållande till fiberplanet i olika delar av den sannolika glidytan.

Bild 10 visar resultaten från några konsoliderade-odränerade skärförsök utförda med en kompressometer-skärapparat av Kjellman-typ. Även om skärhållfasthetskurvan egentligen är svagt S-formig, kan den för ifrågakommande små spänningsökningar i regel väl approximeras med en rät linje. Enligt ett av J. Hyypä år 1955 utfört examensarbete kan torvens skenbara friktionsvinkel vid CU-försök variera $11-21^{\circ}$ och den är oftast $15-20^{\circ}$. Försöken omfattade främst Sphagnum-torv och brottytan låg horisontalt, dvs. i fiberriktningen. Vid okonsoliderade-odränerade skärförsök var motsvarande vinkel blott $0-5^{\circ}$ (jfr. Hanrahan 1954).

Treaxialförsök med omrörd och ostörd torv har visat, att torvens effektiva friktionsvinkel är förvånansvärt hög. Enligt treaxialförsök utförda av Adams (1965) och Hanrahan och Dunne (1967) har φ' -värden på $36-48^{\circ}$ observerats. Brott har härvid antagits inträffa när huvudspänningsskillnaden (deviatorspänningen) nått sitt maxivärde, varvid torvprovets axiala sammantryckning varit 10-20%. Det bör framhållas, att försöken utförts med relativt små jordprov där provets dimensioner, i synnerhet efter konsolidering för högre celltryck, varit små i jämförelse med fiberlängden.

Man kan fråga sig hur ett material med stor kompressibilitet samtidigt kan ha så stor inre friktionsvinkel. I sand o. a. mineraljordarter har vi ju vant oss vid att kombinera stor friktionsvinkel med hög packningsgrad och låg kompressibilitet. Det är emellertid tydligt, att ett material med låg utgångshållfasthet bör öka förhållandevis mera i hållfasthet ju mera materialet komprimeras, förutsatt att det icke är fråga om ett sensitivt (strukturkänsligt) material. Även om det icke gäller något egentligt "friktionsmaterial" bör hållfastheten i ett fibrigt material öka med ökad sammantryckning, eftersom antalet fibrer som genomskäres av brottytan samtidigt ökar. Det bör dessutom observeras, att även den fasta torvsubstansen ökar i fasthet tack vare kompressionen, eftersom torvsubstansens vattenhalt och

porvolym samtidigt minskas. Friktionen ökar även på grund av att kontaktytan mellan fibrerna förstoras vid högre belastning (Morton och Hearle 1962). Kompressionen kan i detta avseende sägas ha dubbel fasighetsökande betydelse i fibriga organiska jordarter.

Bärförmåga.

Torvens bärförmåga har vanligen uppskattats med ledning av de metoder, som tillämpas för mineraljordarter (Ward 1948, Anderson och Hemstock 1959, Miyakawa 1959, v. Moos och Schneller 1961), dvs. utgående från att markgenombrott sker i form av skärbrott längs en t. ex. cirkulär cylindrisk glidyta. Försök har emellertid även gjorts att tillämpa elasticitetsteoretiska betraktelsesätt. Smith (1950) utgick sålunda från spänningsfördelningen under langsträckt belastningsyta och antog att brottbelastningen (p_u) var dubbelt större än den kritiska belastning, då skärspänningens maximivärde blir lika som markens odränerade skärhållfasthet (s_u). Detta antagande ger i föreliggande fall brottbelastningen $p_u = 2\pi s_u$ (jämfört med $p_u = (2+\pi)s_u$ enligt plasticitetsteorin). Även beräkningsmetoder baserade på perimeter-skärprincipen har föreslagits (Korchunov 1946).

Då torvens ytskikt vanligen består av fibrig råtorv och då dennas egenskaper avviker från mineraljordarternas, vore det motiverat att använda speciella metoder för beräkning av torvens bärförmåga. I jämförelse med finkorniga kohesionsjordarter har torven t. ex. rätt stor permeabilitet, varför ytskiktet snabbt komprimeras och sättningarna blir stora, i synnerhet i jämförelse med de små deformationerna i friktionsjordarter. Den stora kompressibiliteten gör att risken för lokalt brott speciellt bör beaktas. Torven kan så att säga brista in i sig själv; det starkast komprimerade ytskiktet brister, men någon genomgående glidyta behöver icke utbildas.

Bild 11 visar en cirkulär belastningsplatta på ytan av ett högkompressibelt, fibrigt torvlager. Så länge sättningen är noll, är plattans bärförmåga obefintlig (bild 11 a), eftersom en viss sättning erfordras för att hållfastheten skall mobiliseras. I den mån sättningen (δ) ökas och det under plattan liggande porösa ytskiktet komprimeras (bild 11 b), växer även torvens bärförmåga. Torvfibrerna invid och utanför plattans kanter blir samtidigt utsatta för böjdragspänningar, som slutligen kan ge upphov till dragsprickor (bild 11 c).

På grund av sättningens storlek och torvstrukturens förändringar kan man i ett dylikt fall tala om kompressionsbrott. Det ligger härvid nära till hands att definiera bärförmågan utgående från en viss kritisk sättning (δ_k). Detta kan även motiveras med att risken för dragsprickor växer, då sättningen ökas och att med belastningsytans kanter parallella dragsprickor framträder vid en viss kritisk sättning. Är belastningsytan böljig eller utgöres belastningen t. ex. av grusfyllning utlagd direkt på torvytan, kan dragsprickor även uppstå under själva belastningsytan.

I stället för att binda brottgränsen vid en viss kritisk totalsättning, väljer man lämpligen en av belastningsytans storlek beroende sättning. Då böjdragspänningarna beror av torvfibrernas krökningsradie och denna i sin tur av belastningsytans radie, kan den kritiska sättningen antagas utgöra ett visst %-tal av belastningsytans bredd. Förutom av belastningsytans böjlighet och förmåga att upptaga dragspänningar beror storleken av den kritiska sättningen på torvens art (fibrighet m. m.). Ifall belastningsförsök utförts, kan den kritiska sättningen fastställas i varje särskilt fall (bild 12).

Torvens bärförmåga och risken för lokalt brott under en styv belastningsplatta (bild 11) kan eventuellt analyseras utgående från perimetermotståndsprincipen. Eftersom perimetermotståndet mobiliseras i den mån sättningen (δ) växer, kan lasten (P) sättas

$$P = \pi r^2 q + 2\pi r \delta v = \pi r^2 (K\delta + 2v\delta/r) \quad (4)$$

då q är grundtrycket under plattan, v betecknar perimetermotståndet, r är plattans radie och K betecknar bäddningsmodulen ($K = q/\delta$). Tillämpas perimetermotståndsprincipen även på olika djup under plattan, kommer man slutligen till ett djup $z = \delta + nr$ (bild 13), där den av plattan förorsakade kompressionen kan försummas och där trycket q kan antagas motsvara belastningen av ovanför liggande jordlager ($= \gamma z$, då γ är markens volymvikt). På nivån z fås sålunda

$$\begin{aligned} p + \gamma nr &= nr v \cdot 2\pi r / (\pi r^2) + \gamma (nr + \delta) \\ p &= 2nv + \gamma\delta \end{aligned} \quad (5)$$

Perimetermotståndet är störst vid plattans ytterkant, där torven komprimerats mest och minskas till noll på djupet z ; där deformationen antages vara forsumbar (v = perimetermotståndets medelvärde). På grund av torvens komprimering är perimetermotståndet på nivån δ större än torvens ursprungliga skärhållfasthet. Då antalet torvfibrer är oförändrat, kan komprimeringens inverkan approximativt beaktas genom att beräkna perimetermotståndet på den ursprungliga höjdskillnaden $nr + \delta$ (bild 13). Antages det mot bärförmågan (p_u) svarande maximala perimetermotståndet vara lika med jordartens odränerade skärhållfasthet (s_u) erhålles

$$p_u = (n + \delta/r) s_u + \gamma \delta \quad (6)$$

Värdet på faktorn n kan uppskattas t.ex. enligt av Jaky och Tsytovitich föreslagna metoder för beräkning av djupet hos det för komprimering utsatta jordlagret under belastningsytor av olika form (Szechy 1963). Antages n vara 4.0 och det mot p_u svarande δ/r -värdet vara 2.0, fås sålunda $p_u = 6s_u + \gamma \delta$. Vid $\delta/r = 0.4$ blir motsvarande bärighet blott $p_u = 4.4 s_u + \gamma \delta$. Detta visar, att torvens bärighet mobiliseras först efter stora sättningar och att det mot bärighetsfaktorn $N_c = 6$ svarande p_u -värdet förutsätter en sättning av storleksordningen $\delta = 2r$.

Ifall torven underlagras av lösa gyttje- eller lerlager, vilkas skärhållfasthet mobiliseras redan vid mindre deformationer, kan dessa jordlager brista, trots att någon glidyta ännu icke utbildats i torvskiktet. I flertalet fall, där skärbrott observerats i myrmark, har lagerföljden varit av denna typ (MacFarlane 1961). Ett likartat fall föreligger då - såsom ofta är fallet - ett ytskikt av råtorv underlagras av kohesionär svarttorv. En möjlig brottmekanism för dylika fall har diskuterats av Flaate (1967), enligt vilken skärbrott kan inträffa i en horisontal glidzon och dragbrott i råtorvskiktet under belastningen. Denna brottmekanism synes lämpa sig väl för ett anisotrop material som torv, där skärhållfastheten längs med ett horisontalt fiberplan är mindre än i en sned eller lodrät brottyta. En stabilitetsanalys baserad på denna brottmekanism kan lämpligen utgå från en projektions-ekvation för de vågräta krafterna.

En rent empirisk metod för uppskattning av bärförmågan hos torvmark har föreslagits av Thurber (1965). På grundval av erfarenheter från vägbyggen på myrmark i västra Kanada drog han den slutsatsen, att största tillåtna höjden av en fyllning - för undvikande av skärbrott - vore ca. 3.5 m om torvdjupet är mindre än ca. 5 m och 2.5 m, om mossdjupet (inkluderande event. lös lera, gyttja och dy) är större än 5 m. Detta skulle motsvara en högsta tillåten belastning av ca. 7 ton/m², respektive 5 ton/m². Då bärförmågan emellertid även är beroende av torvens art och hållfasthet, bör denna tumregel blott gälla för en viss torvtyp.

En bättre metod har föreslagits av Weber (1964), som på grundval av erfarenheter från skogsvägbyggen i Sverige uppgjort ett bedömningsdiagram (bild 14 a), där hänsyn tages till mossens djup och till det vridmoment, som erhålles med en tvåbladig vridborr (bild 14 b). Diagrammet gäller för en normal banktjocklek på 60-70 cm. Vissa observationer tyder emellertid på att även torvtypen har en betydande inverkan och att vingborrens maximala vridmoment icke tillräckligt beaktar denna inverkan. Torvdjupets betydelse för mossbärigheten har även framhållits av Björksten (1963).

GYTTJA OCH DY.

Allmänt.

Gyttja och dy är organiska jordarter bestående av lämningar efter växter och djur, som avsatts på botten av vattendrag. Förutom organiskt material innehåller dessa jordarter vanligen även varierande mängder av oorganiska fraktioner och en successiv övergång från rent organiska jordarter till mineraljordarter kan observeras.

På stora vattendjup avsättes djupgyttja, en findetritusgyttja (Aarnio 1938) bestående huvudsakligen av planktonlämningar och finkorniga lerpartiklar (är humushalten blott 2-6% benämnes jordarten enligt den finska sk. tekniska jordartsklassificeringen gyttjelera). På mindre djup bildas strandgyttja, en grovdetritusgyttja bestående främst av lämningar efter högre vattenväxter och strandvegetation. Som mellanform förekommer alggyttja bestående av lämningar efter på botten växande alger, främst blågröna. Speciella former

är kalkgyttja, vars vita eller gulaktiga färg härrör från jordartens höga kalkhalt, och kiseljord, som består av skal av mikroskopiskt små kiselalger (Nilsson 1951).

Gyttjan innehåller vanligen rikligt med i olika förmultnings- och förruttningsstadier varande organiska beståndsdelar. Dy består däremot huvudsakligen av stabilare humifikationsprodukter, som upplösta eller uppslammade transporterats med vattnet och senare fällts ut och avsatts på botten av en sjö. Dyjord är vanligen brun eller svartbrun och den mörka färgen kvarstår även efter torkning. Gyttjan, som i naturfuktigt tillstånd oftast är grön eller brunaktig, blir däremot vid torkning betydligt ljusare till färgen. Mellanformer, såsom torvdy, förekommer även (v. Post 1921).

Beträffande sina geotekniska egenskaper kan gyttja och dy sägas bilda mellanformer mellan å ena sidan torv och å andra sidan finkorniga mineraljordarter. Vid hög humushalt påminner ifrågavarande jordarter snarast om starkt humifierad torv (dytorv). Då de avsatts i vatten och bildats av vattenrika organismer med stor porositet, kommer deras egenskaper framför allt att domineras av hög vattenhalt och stor kompressibilitet. Då de postglaciala jordarterna dessutom bildats i ett sent skede och därför sällan belastas av andra, tyngre jordarter, är deras hållfasthet och bärighet ringa.

Permeabilitet.

Permeabiliteten hos gyttja och dy i naturfuktigt tillstånd är av samma storleksordning som permeabiliteten hos starkt humifierad torv. Permeabiliteten varierar dock givetvis beroende på mängden och kornstorleken hos de i jordarten ingående mineralfraktionerna. På grund av den stora kompressibiliteten varierar permeabiliteten även i hög grad beroende av belastningens storlek. Permeabilitetsindex i ekv. (2) är i gyttja ca. 1-2 och växer vid stigande humushalt. Vid en fördubbling av belastningen kan permeabiliteten sålunda minska till en fjärdedel av sitt ursprungliga värde, vilket bl. a. inverkar på konsolideringens tidsförlopp.

Då ett ytlager av gyttja eller dy torkar, uppstår breda torksprickor, som kvartstår även om grundvattenytan senare stiger. Dessa permanentsprickor är till stor nytta vid dräneringsarbeten i gyttjelera och gyttja och möjliggör

i vissa fall t. o. m. att täckdiken helt kan bortlämnas. Vid byggande av torrläggingsdammar, vid invallning av havsvikar o. dyl. är ytskiktets goda vattengenomsläpplighet däremot av ondo. En i Finland prövad metod att förstöra spricksystemet är att söndra ytskiktets struktur genom sprängning. Erfarenheterna från utförda invallningsarbeten tyder på att den genom sprängning omrörda marken ej senare erhåller några genomgående permanentprickor, utan att den omrörda gyttjan eller gyttjeleran vid torkning snarare får en grynaktig konsistens (grynlera).

Kompressibilitet.

Den naturliga vattenhalten hos gyttja och dy är ofta 100-400%. Härav följer, att dessa jordarter har mycket hög kompressibilitet. Bild 15, som baserar sig på kompressionsförsök utförda av Lantbruksstyrelsen (Korhonen 1958), visar emellertid, att kompressionsindex C_c icke mera växer så snabbt, när den naturliga vattenhalten överstiger ca. 150%. Detta beror på att vi här har att göra med organiska jordarter med lägre specifik vikt och större vattenbindningsförmåga. Sambandet mellan C_c -värdet och vattenhalten $w_a = w\%/100$ kan för ifrågavarande organiska jordarters del uttryckas genom ekvationen

$$C_c = 1.2 \sqrt[3]{w_a^2} \quad (7)$$

Såsom av de streckade linjerna i bild 15 a framgår, är spridningen av försöksresultaten emellertid rätt stor.

Bild 15 b visar sambandet mellan vattenhalten och kompressionskvoten $C_c/(1+e_0)$. Den heldragna linjen representerar här den teoretiska medelvärdekurvan för vattenmättad mark. I likhet med kurvan i bild 15 a visar den en påtaglig krökning vid ca. 150% vattenhalt. Parallellskalan för modulm är bestämd enligt ekvationen

$$m = \frac{1+e_0}{C_c} \ln 10 \quad (3)$$

Den streckade kurvan i bild 15 b representerar sambandet mellan vattenhalten och kompressionskvoten enligt av Lantbruksstyrelsens jord- och vattentekniska forskningsbyrå utförda ödometerförsök. Avvikelsen mellan de bägge kurvorna beror förmodligen delvis på att jordproven icke varit helt vattenmättade.

Gyttja och dy uppvisar i regel stora sekundära sättningar, ibland är tid-sättningskurvan nästan i sin helhet rätlinjig i enkellogaritmisk skala. Ju mindre halten av organiskt material är, desto mera ökar emellertid primärsättningens betydelse. Intraffar primärsättningen S_p efter tiden t , kan sekundärsättningen under perioden $t-10 t$, $2 t - 20 t$ etc. enklast uppskattas i procent av primärsättningen (SGI 1959). För gyttjelera och gyttja kan ifrågavarande sekundärsättning variera 20-100%. Då en stor del av sättningen inträffar efter det att porvattnets övertryck utjämnats, medför detta bl.a. att ändamålsenligheten av vertikaldränering kan ifrågasättas i jordarter med betydande halt av organiskt material, eftersom skadliga eftersättningar vertikaldräneringen till trots i regel icke kan undvikas (Hailikari och Juhola 1964, v. Moos 1964).

Skärhållfasthet.

Då gyttja och dy har låg volymvikt och sällan överlagras av andra, tyngre jordlager, är konsolideringstrycket litet och deras skärhållfasthet följaktligen låg. Enligt undersökningar, som utförts i samband med av Lantbruksstyrelsen planerade torrlägningsföretag (Airaksinen, Korhonen och Wäre 1961), var den odränerade skärhållfasthetens medianvärde vid närmare två-tusen försök i gyttja blott ca. 0.5 ton/m^2 och 20-30% frekvensvariationerna utgjorde $0.2-1.0 \text{ ton/m}^2$. Motsvarande medianvärde för gyttjelera var 0.7 ton/m^2 och för gyttjig silt 1.1 ton/m^2 . Sensitiviteten var samtidigt låg, medianvärdet för gyttja var blott 3.1, medan sensitivitetens medianvärde för gyttjelera var 5.8 och för gyttjig silt 4.7 (för torv var medianvärdet blott 2.1). Något högre sensitivitetsvärden har erhållits vid Järnvägsstyrelsens undersökningar (Keinonen 1963), enligt vilka sensitivitetens medianvärde i ifrågavarande jordarter varierar i olika delar av landet mellan ca. 4 och 10 (sistnämnda värde gäller jordarter med finlekstalet 91-160, omfattande bl.a. gyttjelera).

Då upptagning av ostörda jordprov i dylika lösa jordarter medför svårigheter, kan den odränerade skärhållfastheten med fördel bestämmas genom vingborrförsök (bild 17). Genom att jämföra skärhållfastheten (s_u) med konsolideringstrycket (p) på samma djup, får man samtidigt reda på jordartens s_u/p -värde. Utförda försök tyder på, att detta värde i ifrågavarande jordarter varierar mellan ca. 0.2 och 0.4. Detta synes ungefär motsvara de

φ_{cu} -värden på 11-20° som erhållits genom skärförsök utförda vid Lantbruksstyrelsen (Airaksinen, Korhonen och Wäre 1961). Den effektiva inre friktionsvinkeln synes enligt utförda treaxialförsök kunna erhålla värden, som är ca. dubbelt större än ovannämnda vinkel.

Det har ifrågasatts, huruvida de hållfasthetsvärden, som erhålles i gyttja eller gyttjelera med t. ex. konprov eller vingborr kan användas som sådana, eller om man borde använda en särskild reduktionsfaktor i organiska jordarter. För konprovet har t. ex. reduktionskoefficienten 0.6 för gyttja och dy och 0.8 för gyttjelera rekommenderats (SGI 1959). Hansbo (1957) anser däremot, att någon dylik reduktionsfaktor icke är motiverad, utan att ifrågavarande förfaringssätt berott på en feltolkning av hållfasthetstalet (H_3) eller på försök att beakta olika störningsgrad vid provtagning med tidigare använda kolvborrtyper. Det vid vanliga rutinundersökningar använda förfarandet synes härvidlag vara något varierande. Det är t. ex. brukligt att vid tillämpning av vingborresultat använda något högre säkerhetsfaktor i vattenrika organiska jordarter, t. ex. 2.0 i gyttja, om motsvarande säkerhetsfaktor i lera är 1.5.

Ovannämnda nominella ökning av säkerhetsfaktorn kan motiveras med att brottet i organiska jordarter inträffar vid större deformation, vid vingborrförsök alltså vid större vridvinkel. Detta ökar risken för lokalt brott och ifall det under gyttje- eller dylagret finns ett sensitivt lerlager, ökar även risken för progressivt brott (Bjerrum 1966). Den deformation (vinkeländring) vid vilken lerans skärhållfasthet är helt mobiliserad, kan för gyttjans del innebära att t. ex. blott 2/3 a 3/4 av skärhållfastheten hunnit mobiliseras. I det skede, då det organiska jordlagrets skärhållfasthet är fullt mobiliserad, kan det sensitiva lerlagrets effektiva skärmotstånd redan ha hunnit avsevärt reduceras. Den ovannämnda reduktionen av skärhållfastheten kommer följaktligen med i bilden i samband med beaktandet av risken för lokalt och progressivt brott och den mot en viss deformation svarande mobiliserade skärhållfastheten.

HUMUSHALTENS INVERKAN.

Postglaciala mineraljordarter innehåller ofta små kvantiteter humus, som trots sin ringa mängd kan ha avsevärd inverkan på jordartens geotekniska egenskaper. Denna inverkan beror bl.a. på förekomsten av kolloidala humuspartiklar, som omger mineralkornen och ger jordarten en lösare, poros struktur (Waksman 1936). Humushaltens inverkan kan härvidlag liknas vid den inverkan en eventuell halt av finkorniga lerpartiklar har på egenskaperna hos grövre mineraljordarter. På grund av de organiska beståndsdelarnas lägre specifika vikt samt större vattenbindningsförmåga och kompressibilitet, har humushalten dock större betydelse än en motsvarande viktprocent lerpartiklar. Det organiska materialet inverkar även på jordartens katjonutbyteskapacitet, enär det kan uppträda i form av organiska molekyler absorberade på ytan av små mineralpartiklar.

Enligt den finska sk. tekniska jordartsklassificeringen beaktas humushalten vid benämningen av en jordart, ifall denna innehåller minst 2% humus. Är det t. ex. fråga om silt, benämnes jordarten humushaltig silt, om humushalten är 2-6%, men siltig gyttja, ifall humushalten är större än 6%. En humushalt på över 6% har alltså ansetts ge jordarten en dominerande organisk karaktär. (Någon bestämd metod för bestämning av humushalten har dock icke rekommenderats, jfr. Silfverberg 1957).

Att tydliga skillnader existerar mellan de naturliga vattenhalterna, konsistensgränserna, kompressionsindexen samt skärhållfasthets- och sensitivitetsvärdena hos de sålunda definierade jordarterna, framgår bl.a. av de tidigare nämnda, av Lantbruksstyrelsens jord- och vattentekniska forskningsbyrå utförda undersökningarna. Den lösa konsistens och de låga hållfasthetsvärden, som konstaterats vid dessa undersökningar, bör ses mot bakgrunden av att det här huvudsakligen rör sig om jordprov tagna i samband med planering av dräneringsarbeten, dvs. huvudsakligen från låglänta ställen, där torrskorpa saknas. Det är å andra sidan uppenbart, att ifrågavarande jordarter ofta förekommer på dylika låglänta och vattensjuka platser.

Blandjordarterna innehåller vanligen organiska beståndsdelar av findetritus- och dykaraktär, medan däremot fibriga beståndsdelar med låg humifieringsgrad är mera sällsynta. Detta medför bl.a. att humushalten minskar permea-

biliteten och ger jordarten mera kohesionär karaktär. Kohesionens betydelse ökar, medan den inre friktionen mellan jordpartiklarna något minskas. Samtidigt som kompressibiliteten markant ökas, minskas konsolideringskoefficienten och konsolideringen erfordrar sålunda längre tid. Av den organiska fasen förorsakad krypning och långsam komprimering av finstrukturen medför dessutom en påtaglig ökning av den sekundära sättningen.

Bild 16 visar humushaltens inverkan på kompressionens storlek och på tidsförloppet vid ödometerförsök med humushaltig, jämnkornig sand. Redan en relativt låg humushalt förorsakar en tydlig ökning av kompressibiliteten och tidskurvan får en form, som tyder på dominerande inverkan av sekundär tidseffekt. Då humushalten stiger, synes den i enkellogaritmisk skala rätlinjiga "sekundära" delen av tidskurvan övergå i en svagt nedböjd kurva.

Humushaltens inverkan på skärspännings-deformationskurvans form och på den för skärhållfasthetens mobilisering erforderliga deformationen vid dränerade skärförsök med humushaltig sand framgår av bild 18 (vattenhalten efter försöket framgår av bilden, normalspänningen = 1.0 kg/cm^2). Den för skärhållfasthetens mobilisering erforderliga deformationen ökas som synes vid stigande humushalt. Medan kurvans maximipunkt i ren sand nås vid en deformation av blott 3 mm, erfordras dubbelt större deformation, då humushalten är 5% och tre gånger större deformation, om humushalten är ca. 10%. Det mot nämnda deformation (3 mm) svarande värdet på friktionsvinkeln är i ren sand 38.3° , i sand med humushalten 1,3% 37.8° , i sand med $hu = 2.8\%$ 35.4° , vid $hu = 5\%$ 35.0° , vid $hu = 7.3\%$ 32.4° och i sand med humushalten 10% 31.8° . Den mot kurvans maximipunkt svarande friktionsvinkeln uppvisar däremot icke något entydigt beroende av humushalten. Maximivärdet synes snarare vara ungefär lika, dvs. i det närmaste oberoende av humushalten.

Organiska jordarter kan genom diffusion eller grundvattenströmning medföra förändringar i närbelägna oorganiska jordlager. Söderblom (1967) har sålunda påvisat, att i torv förekommande ytaktiva dispergerande ämnen kan öka sensitiviteten hos under torven belägna lerlager. Även Keinonen (1963) har konstaterat, att kvicklera ställvis förekommer under torv. Då frågor

berörande sensitiviteten och därpå inverkan faktorerna ju förtjänstfullt utretts av Rosenqvist o. a. norska forskare, skall här icke närmare ingå på dessa spørsmål. Det förefaller dock fortfarande att finnas flera ouppklarade problem inom detta område, b. a. just beträffande organiska blandjordarter.

SAMMANFATTNING.

De organiska jordarterna är uppbyggda av i olika humifiseringsstadier varande lämningar efter växter och djur och har på grund av den biologiska formrikedomen en synnerligen varierande sammansättning och struktur. Då de dessutom ofta innehåller varierande mängder mineralpartiklar, är det uppenbart, att vi här har att göra med ett brett jordartsregister med i hög grad varierande geotekniska egenskaper. De kännetecknas emellertid överlag av stor porositet och kompressibilitet samt av en i förhållande till typiska mineraljordarter låg hållfasthet och bärförmåga. Permeabiliteten och konsolideringshastigheten minskas kraftigt vid stigande belastning och sättningen domineras ofta av sekundära tidseffekter.

Vid låg humifiseringsgrad har den organiska jordarten ofta en fibrig struktur med en av fiberriktningen beroende anisotropi. Då permeabiliteten är jämförelsevis stor, sker sättningen relativt snabbt och samtidigt som vattenhalten minskas, ökas jordartens hållfasthet. Vid låg humifiseringsgrad har den organiska jordarten sålunda egenskaper, som delvis påminner om typiska friktionsjordarter. Den mot en viss tilläggsbelastning svarande hållfasthetsökningen kan t. o. m. bli större än i fasta friktionsjordarter, men det är att märka, att denna hållfasthetsökning inträder först efter mycket stora deformationer.

Då humifiseringsgraden stiger, minskas permeabiliteten och den strukturella anisotropin fördunklas. Jordarten får samtidigt en mera kohesionär karaktär och börjar till sina geotekniska egenskaper påminna om vattenrik kohesionsjord av lertyp. Sättningarna blir emellertid i regel ännu större beroende på att även själva torrsubstansen komprimeras och på att förbelastningen på grund av den låga volymvikten och den sentida (postglaciala) jordartsbildningen är lägre än i mineraljordarter.

De organiska jordarternas geotekniska egenskaper är ännu blott bristfalligt kända. Deformations- och brottmekanismen avviker delvis från förhållandena i typiska mineraljordarter. De stora deformationerna gör, att de för hållfasthetens och bärförmågans mobilisering erforderliga sättningarna speciellt måste beaktas. Möjligheterna för lokalt eller progressivt brott, samverkan av jordlager med olika humushalt eller olika humifiseringsgrad, mellan fibrigt och icke-fibrigt material etc. erfordrar speciell uppmärksamhet. Sättnings tidsberoende, sekundära och tertiära tidseffekter är likaså fortfarande bristfälligt kända. Här finns sålunda ett påtagligt behov av ytterligare geoteknisk forskning.

SLUTORD.

Till slut vill jag framföra ett hjärtligt tack till Norsk Geoteknisk Forening för den ärofulla inbjudan att hålla 1969 års NGF-föredrag i Oslo och för att föreningen bekostat utgivandet av föreliggande rapport (förhandstryck). En stor del av materialet till denna rapport härrör från undersökningar utförda i samband med examensarbeten i ämnet grundbyggnad och jordbyggnadsmekanik vid Tekniska högskolan i Helsingfors. Examensarbetena ifråga har utförts av T.Hailikari, E.Hjelm, J.Hyypä, H.Karjanlahti, J.Kleemola, J.Kuha, J.Luoma, S.Mustonen, T.Mäntyneva, A.Nurmento, R.Puonti och M.Tikka. Undersökningarna har huvudsakligen bekostats med medel beviljade av Statens teknisk-vetenskapliga kommission, men delvis även av Järnvägsstyrelsen, Lantbruksstyrelsen och Väg- och vattenbyggnadsstyrelsen. Jag vill även framföra ett tack till dipl.ingenjörerna T.Hailikari, V.Myyrä och M.Yrjänä för värdefulla diskussioner.

Litteraturförteckning.

Aarnio, B. (1938).

Über Gyttjaböden. Bodenkunde und Pflanzenernährung.
Nr. 47. pp. 186-192.

Adams, J.I. (1965).

The engineering behavior of a Canadian muskeg.
Proc. Int. Conf. Soil Mechanics. Vol. I, p.3. Toronto.

Airaksinen, U-L., Korhonen, K-H. och Wäre, M. (1961).

Maalajien lujuusominai-suuksista vesirakennustöissä. Maa- ja
vesiteknillisiä tutkimuksia 9.4. Helsinki.

Anderson, K.O. och Hemstock R.A. (1959).

Relating the engineering properties of muskeg to some problems of fill
construction. Proc. 5th Muskeg Res. Conf. NRC, Tech. Memo No.61
Ottawa.

Barden, L. (1963).

Primary and secondary consolidation of clay and peat. Geotechnique
No. 1/1963.

Bjerrum, L. (1966).

Mechanism of progressive failure in slopes of overconsolidated plastic clays
and clay shales. 3rd Terzaghi Lecture. NGI Publ. nr.77, Oslo.

Björkstén, L. (1968).

Över torvmossar byggda vägars sättningar. NVF-konferansen.
Voksenåsen, Oslo.

Brinch Hansen, J. (1961).

A model law for simultaneous primary and secondary consolidation.
Proc. Int. Conf. Soil Mechanics. Vol. I, p.133. Paris.

Casagrande, L. (1966).

Construction of embankments across peaty soils.
Harvard soil mechanics series No. 30, Cambridge, Mass.

Eggelsmann, R. (1957).

Erfahrungsbericht über schwimmende Gründungen auf mehrere Meter
mächtigem Moor. Wasser und Boden Nr. 3/1957.

Flaate, K. (1967).

On the shearing resistance of peat. Proc. Geotechn. Conf. Oslo 1967.
Vol. II. pp. 197-198.

Flaate, K. (1968).

Setninger i torvjordarter. NVF-konferansen. Voksenåsen, Oslo.

Hailikari, T. och Juhola, M.O. (1964).

Tarvovägen. Tekniskt Forum Nr. 9/1964.

Hanrahan, E.T. (1954).

An investigation of some physical properties of peat. Geotechnique No.3/1954.

Hanrahan, E.T. (1964).

A road failure on peat. *Geotechnique* No. 3/1964.

Hanrahan, E.T. och Dunne, J.M. (1967).

Shear strength of peat. *Proc. Geotechn. Conf. Oslo 1967. Vol. I.* pp. 193-198.

Hansbo, S. (1957).

A new approach to the determination of the shear strength of clay by the fall-cone test. *R. Swed. Geotechn. Inst. Proc. No.14, Stockholm.*

Helenelund, K.V. (1951).

Om konsolidering och sättning av belastade marklager. *Jord- och vattentekn. Forskningar Nr.6, Helsingfors.*

Helenelund, K.V. (1967).

Vane tests and tension tests on fibrous peat. *Proc. Geotechn. Conf. Oslo 1967. Vol. I.* pp. 199-203.

Helenelund, K.V. (1968).

Compression, tension and beam tests on fibrous peat. *Proc. 3rd Int. Peat Conf. Quebec.*

Janbu, N. (1967).

Settlement calculations based on the tangent modulus concept.

Institutt for Geoteknikk og Fundamenteringslære.

Medd. Nr. 2. NTH. Trondheim.

Keinonen, L. 1963.

On the sensitivity of water-laid sediments in Finland and factors inducing sensitivity. *State Inst. for Techn. Res. Publ. No. 77. Helsinki.*

Kelly, A och Tyson, W.R. (1965).

Tensile properties of fibre-reinforced metals. *Mech. Phys. Solids. Vol. 13,* pp. 329-350.

Kivinen, E. (1948).

Suotiede. Porvoo-Helsinki.

Korchunov (1946).

Bearing capacity of deposits. *Torfyanya Promyshlennost No. 9. p.22. Bord Na Mona. E.S. Transl. No. 4.*

Korhonen, K-H (1958).

Maan painumisominaisuuksista. Maa- ja vesirakentaja 3. pp. 63-69, Helsinki.

Kulakow, N.N. (1947).

Einführung in die Physik des Torfes. Moskau.

MacFarlane, I.C. (1958).

Guide to a field description of muskeg (based on the Radforth classification system). *NRC. Tech. Memo. No. 44, Ottawa.*

MacFarlane, I.C. (1959).

A review of the engineering characteristics of peat. ASCE. Proc. Vol. 35. SM 1, pp. 21-35.

MacFarlane, (1961).

Evaluation of road performance over muskeg in Northern Ontario (II). Proc. 6th Muskeg Res. Conf. NRC. Tech. Memo No. 67, pp. 44, Ottawa.

Miyakawa, I. (1959).

On the stability of soft peaty ground under an earth embankment. Civil Eng. Res. Inst. Report No. 21. Sapporo.

v.Moos, A. och Schneller, F. (1961).

Rutschung eines Strassendamms in einem Torfgebiet bei Sargans, Kanton St.Gallen. Strasse und Verkehr Nr. 1/1961, p.5.

v.Moos, A. (1964).

Schweizerische Erfahrungen im Strassenbau auf Torf. Strasse und Autobahn, H. 8/1964.

Morton, W.E och Hearle, J:W.S. (1962).

Physical properties of textile fibres. London.

Mustonen, S. (1958).

Kuivatuspenkereiden vakavuudesta ja painumisesta. Maa- ja vesirakentaja 3. Helsinki.

NGI (1966).

Beretning over Norges geotekniske institutts virksomhet 1.1.1964 - 31.12.1965
NGI, Publ. Nr. 68, Oslo.

Nilsson, T. (1951).

Torvgeologi. Föreläsningar för AB Svensk Torvförädlings forskningspersonal.

Pihlainen, J.A. (1963).

A review of muskeg and its associated engineering problems. Cold Regions Res. och Eng. Lab. Techn. Report No. 97, Hanover, N.H.

v.Post, L. (1921).

Upplysningar rörande Sveriges geologiska undersöknings torvmarksrekognosering. SGU, Beskrivning till kartbladet Upperud, Stockholm.

SGI (1959).

Kompendium i geoteknik. Statens Geotekniska Institut. Medd. Nr. 5, Stockholm.

Silfverberg, L. (1957).

Chemical determination of soil organic matter. R.Swed. Geotechn. Inst. Proc. No. 15. Stockholm.

Skaven-Haug, Sv. (1960).

Torvsubstansens mengdeandel i torv. Medd. fra Det norske myrselskap. Nr. 1/1960.

Smith, A.H.W. (1950).

A survey of some British peats and their strength characteristics. Army Operational Research Group. Report No. 32/49.

- Szechy, K. (1963).
Der Grundbau. Erster Band. Untersuchung und Festigkeitslehre des Baugrundes. Wien.
- Söderblom, R. (1967).
Chemical aspects of quick-clay formation. SGI. Report No. 21. Stockholm.
- Thurber, R.C. (1965).
Some methods of construction in peat bogs and swamps in British Columbia. Proc. 10th Muskeg Res. Conf. NRC. Tech. Memo No. 85, p. 61, Ottawa.
- Tveiten, A. (1956).
Anvendelse av torv i dammer. Norges geotekniske institutt. Publ. nr. 14, Oslo.
- Waksman, S.A. (1936).
Humus, Origin, chemical composition, and importance in nature. London.
- Ward, W.H. (1948).
A slip in a flood defence bank constructed on a peat bog. Proc. Int. Conf. Soil Mechanics. Vol. I. pp. 19-23. Rotterdam.
- Weber, H. (1964).
Metod för bestämning av bärigheten hos torvmossar i samband med skogsvägbyggen. Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskrift N. 1/1964.
- Wilson, N.E. (1967).
Shear mechanism i fibrous peat. Proc. Geotechn. Conf. Oslo 1967. Vol. II, p. 215.
- Wilson, N.E., Radforth, N.W., MacFarlane, I.C. och Lo, M.B. (1965).
The rates of consolidation for peat. Proc. Sixth Int. Conf. Soil Mechanics. Vol. I, pp. 407-411. Toronto.
- Yamada, B. (1967).
On the one-dimensional consolidation by three-dimensional dehydration, with secondary compression taken into consideration. Trans. Japan. Soc. Civ.Eng. No. 142.

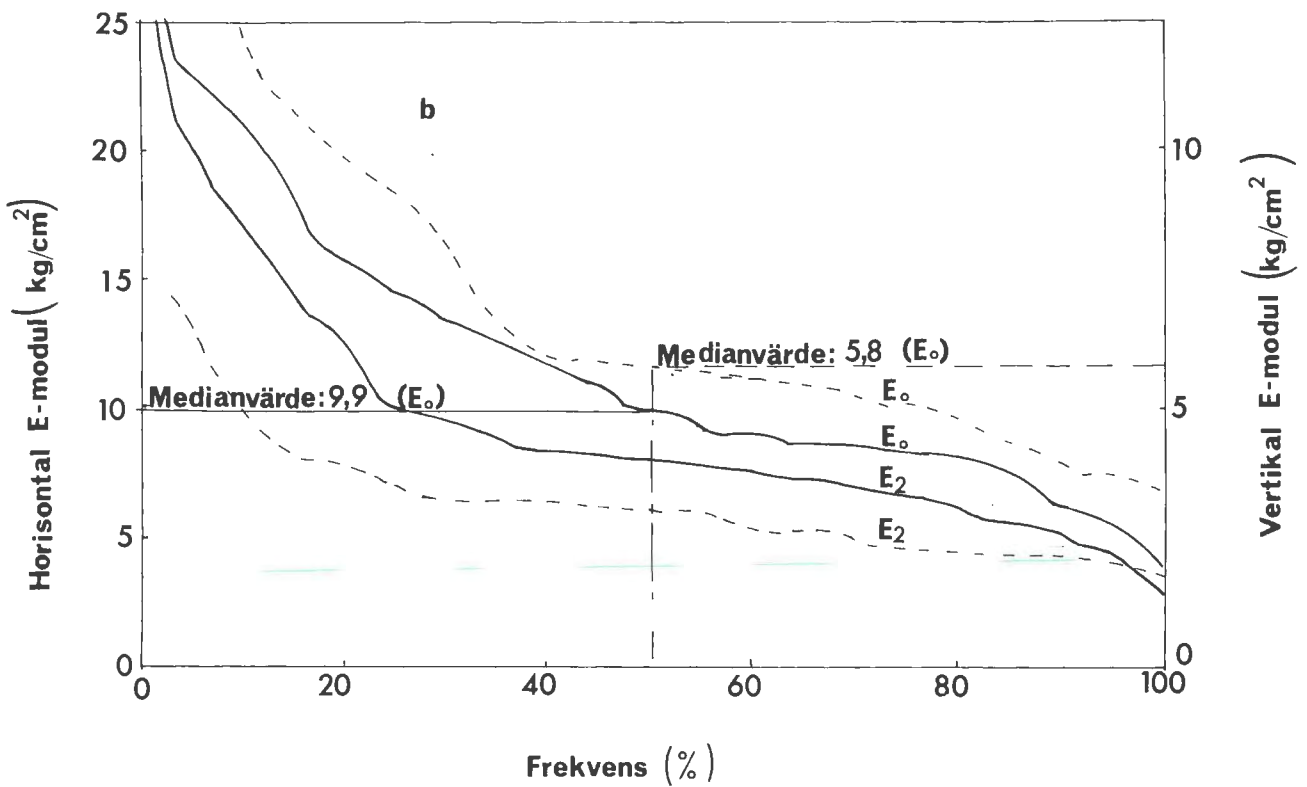
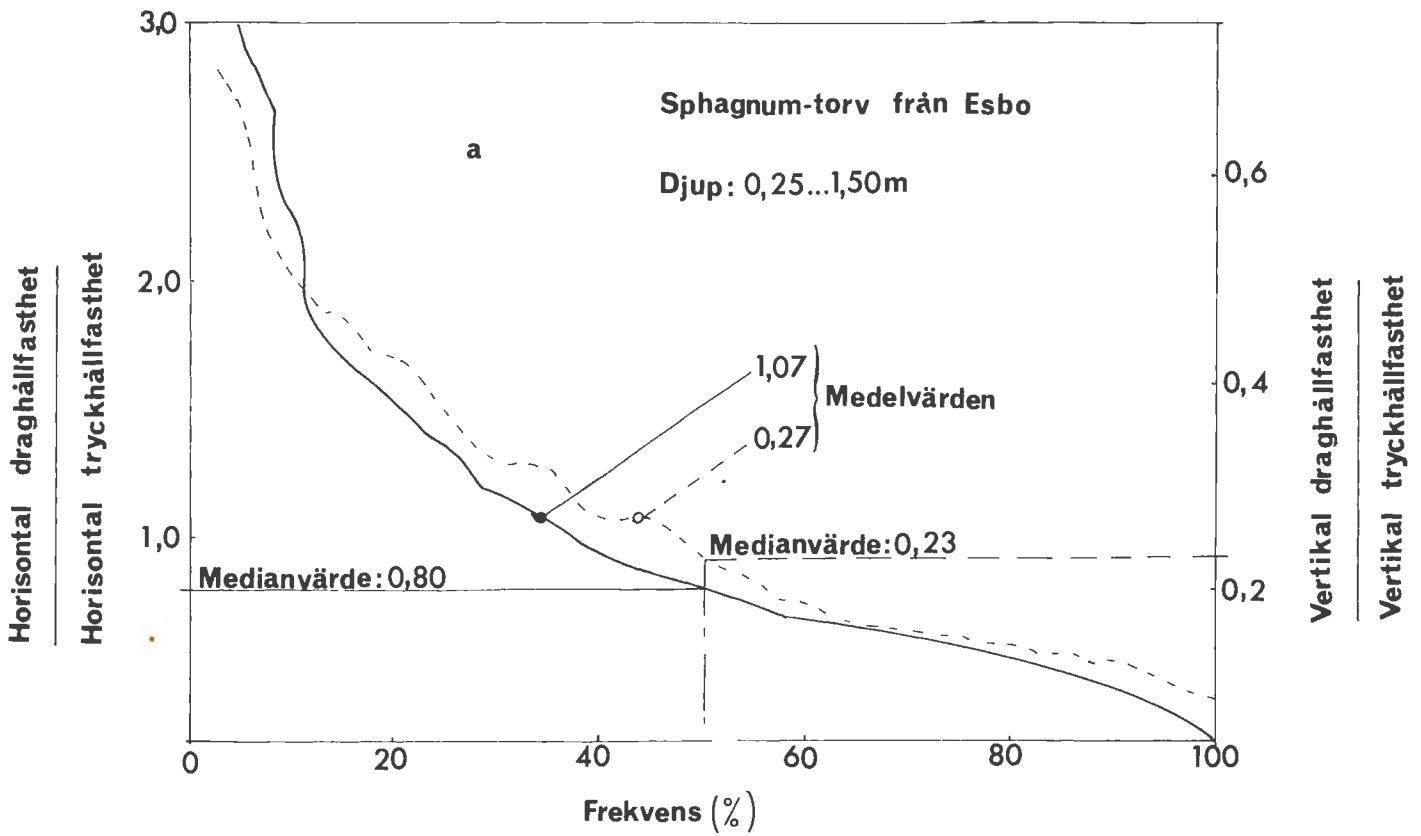


BILD 1. FREKVENSKURVOR ÅSKÅDLIGGÖRANDE a) FÖRHÅLLET MELLAN DRAGHÅLLFASTHETEN OCH TRYCKHÅLLFASTHETEN I HORISONTAL OCH VERTIKAL RIKTNING SAMT b) VARIATIONERNA HOS INITIALMODULEN E_0 OCH SEKANTMODULEN E_2 ENLIGT VERTIKALA OCH HORISONTALA TRYCKFORSÖK MED SPHAGNUM-TORV.

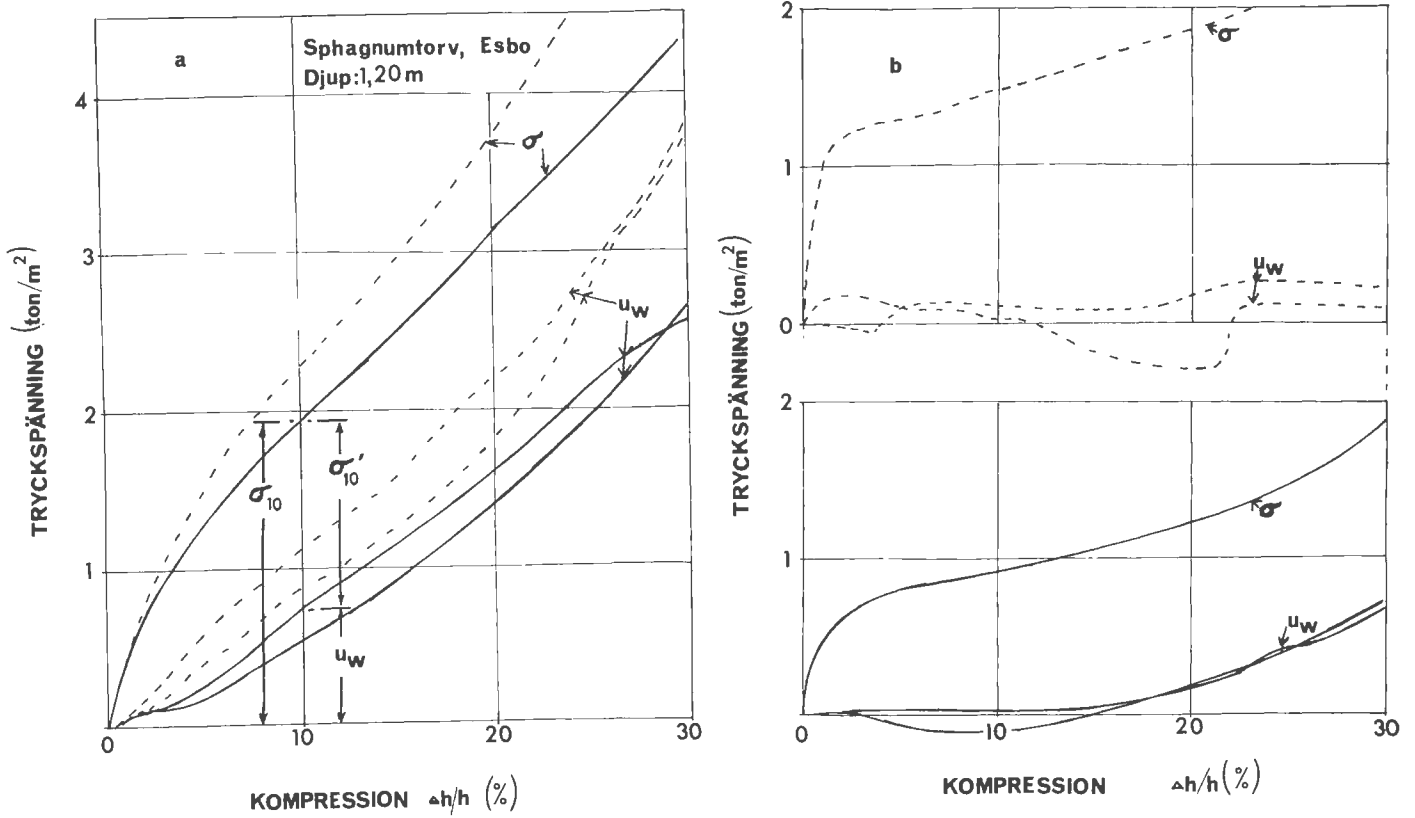


BILD 2. SPÄNNINGS-DEFORMATIONSKURVOR SAMT PORVATTENTRYCKETTS (u_w) VARIATIONER I TORVPROVETS MITTPUNKT OCH ÖVRE FJÄRDEDELSPUNKT VID a) VERTIKALA OCH b) HORIZONTALA TRYCKFÖRSÖK.

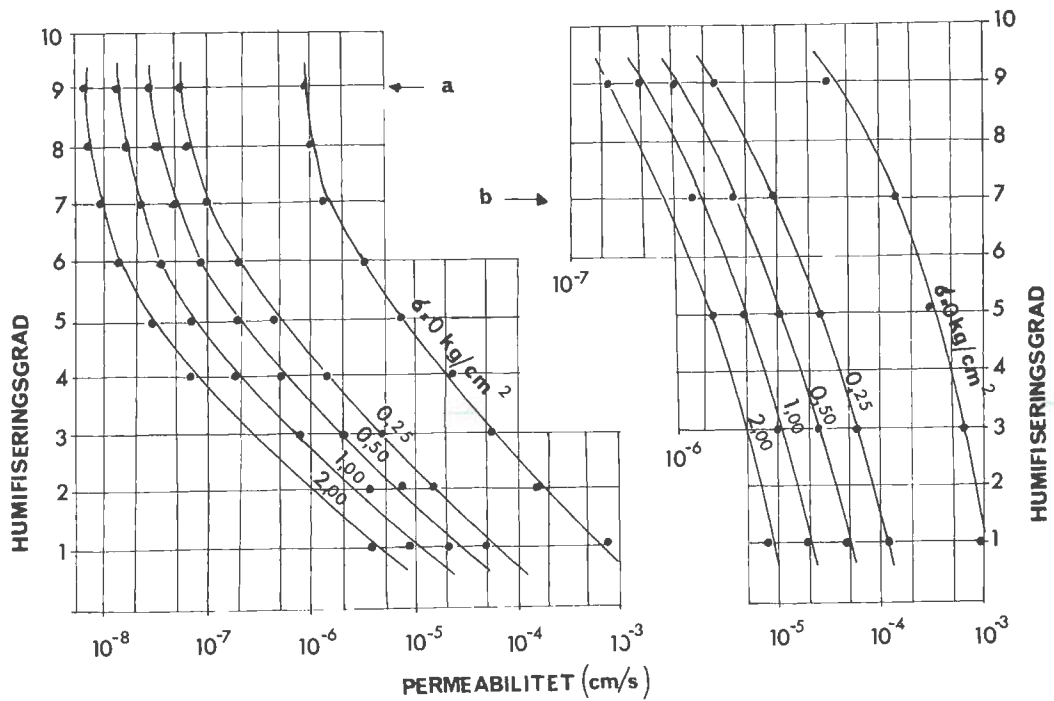


BILD 3. PERMEABILITETEN SÅSOM FUNKTION AV HUMIFISERINGSGRADEN OCH BELASTNINGEN I a) FULLSTÄNDIG OMRÖRD TORV, b) NATURLIG, O-STÖRD TORV.

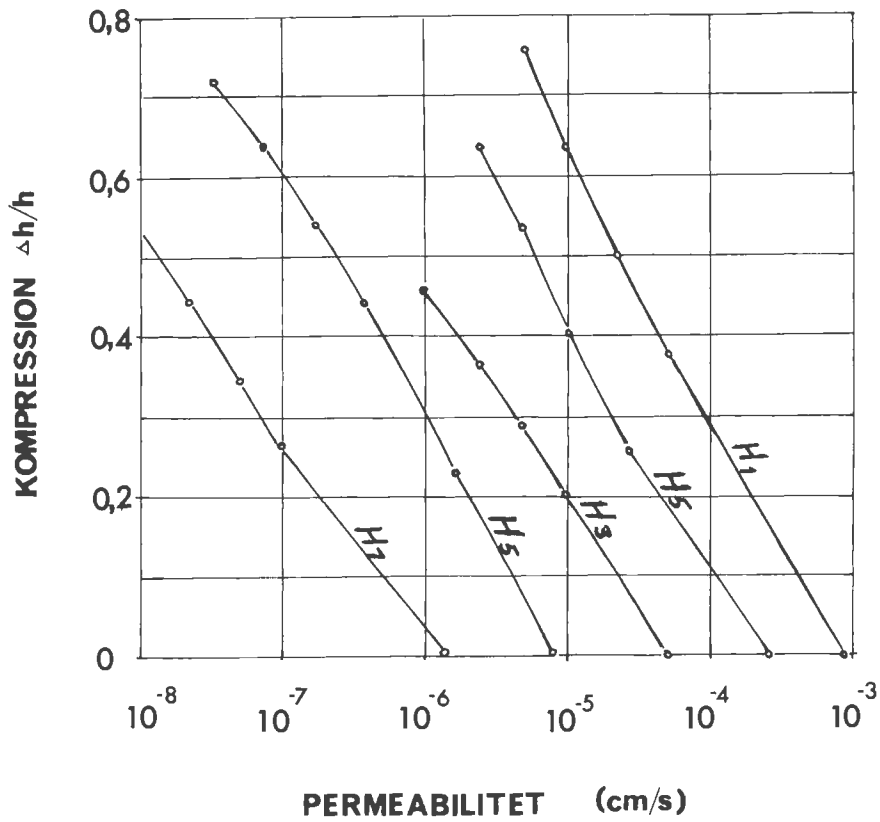


BILD 4. SAMBANDET MELLAN TORVENS PERMEABILITET OCH RELATIVA KOMPRESSIÖN.

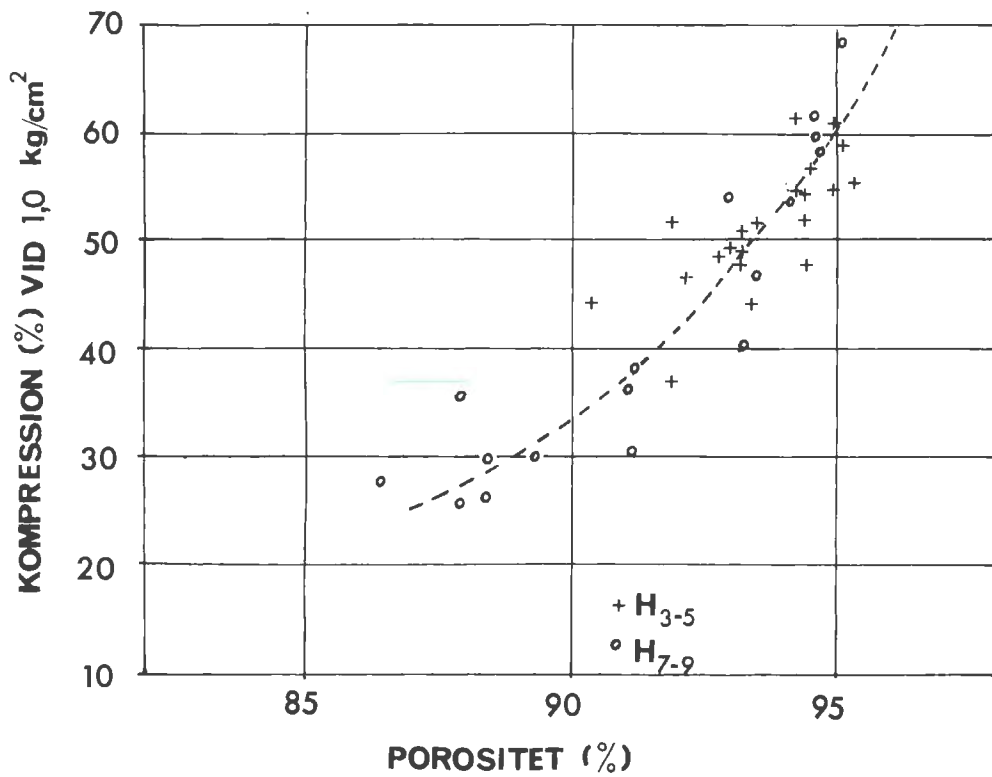


BILD 5. KOMPRESSIÖNEN SOM FUNKTION AV POROSITETEN I TORVPROV MED OLIKA HUMIFISERINGSGRAD.

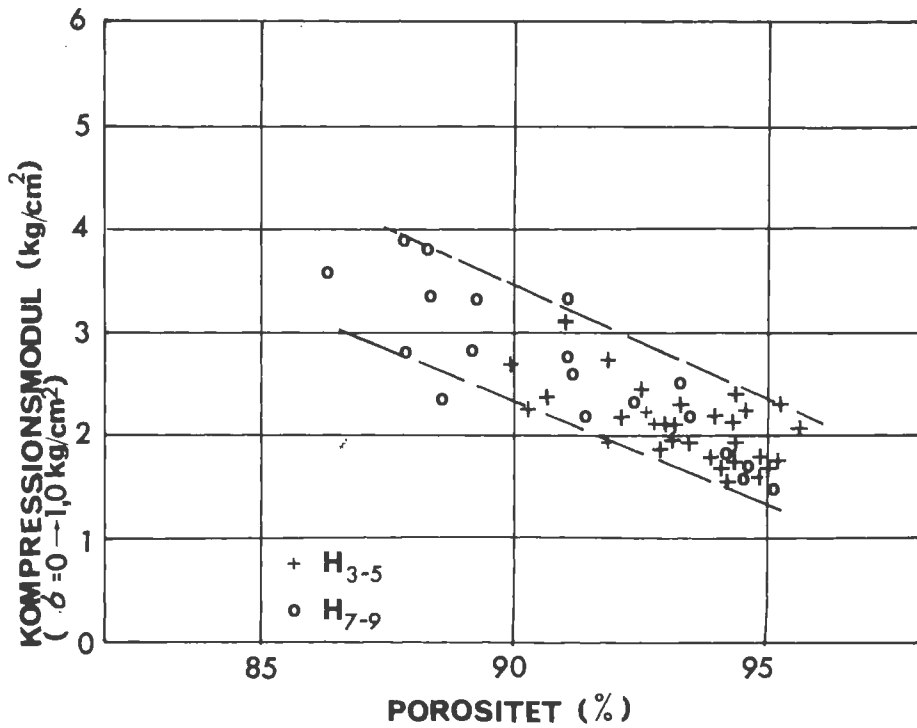


BILD 6. KOMPRESSIÖNSMODULENS BEROENDE AV TORVENS POROSITET OCH HUMIFISERINGS-GRAD.

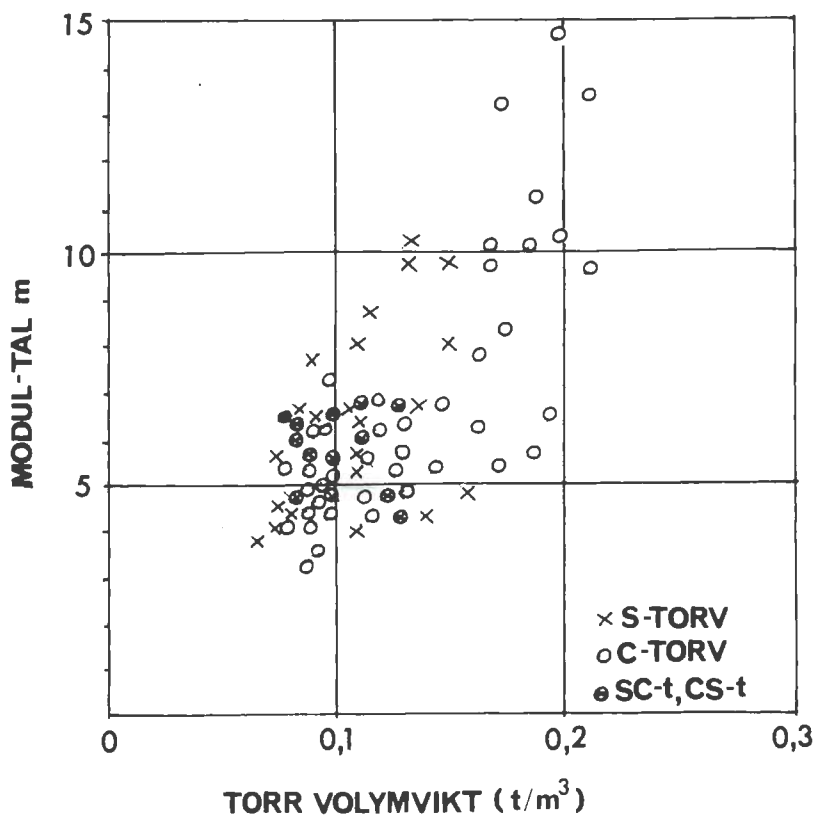


BILD 7. MODULTALET'S VARIATIONER I TORV-PROV AV OLIKA TYP OCH MED VARIERANDE VOLYMKVIKT.

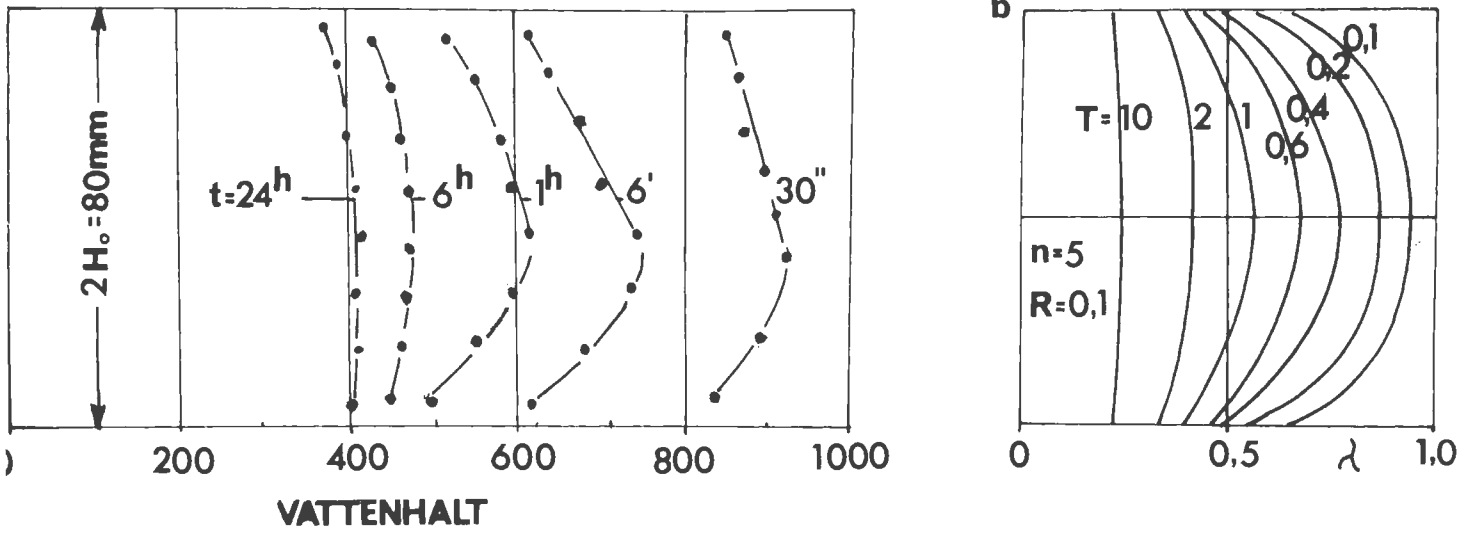


BILD 8. VATTENHALTSISOKRONER OBSERVERADE VID ÖDOMETERFÖRSÖK MED OSTÖRD FIBRIG TORV (a) SAMT TEORETISKA ISOKRONER ENLIGT BARDEN (1968, b).

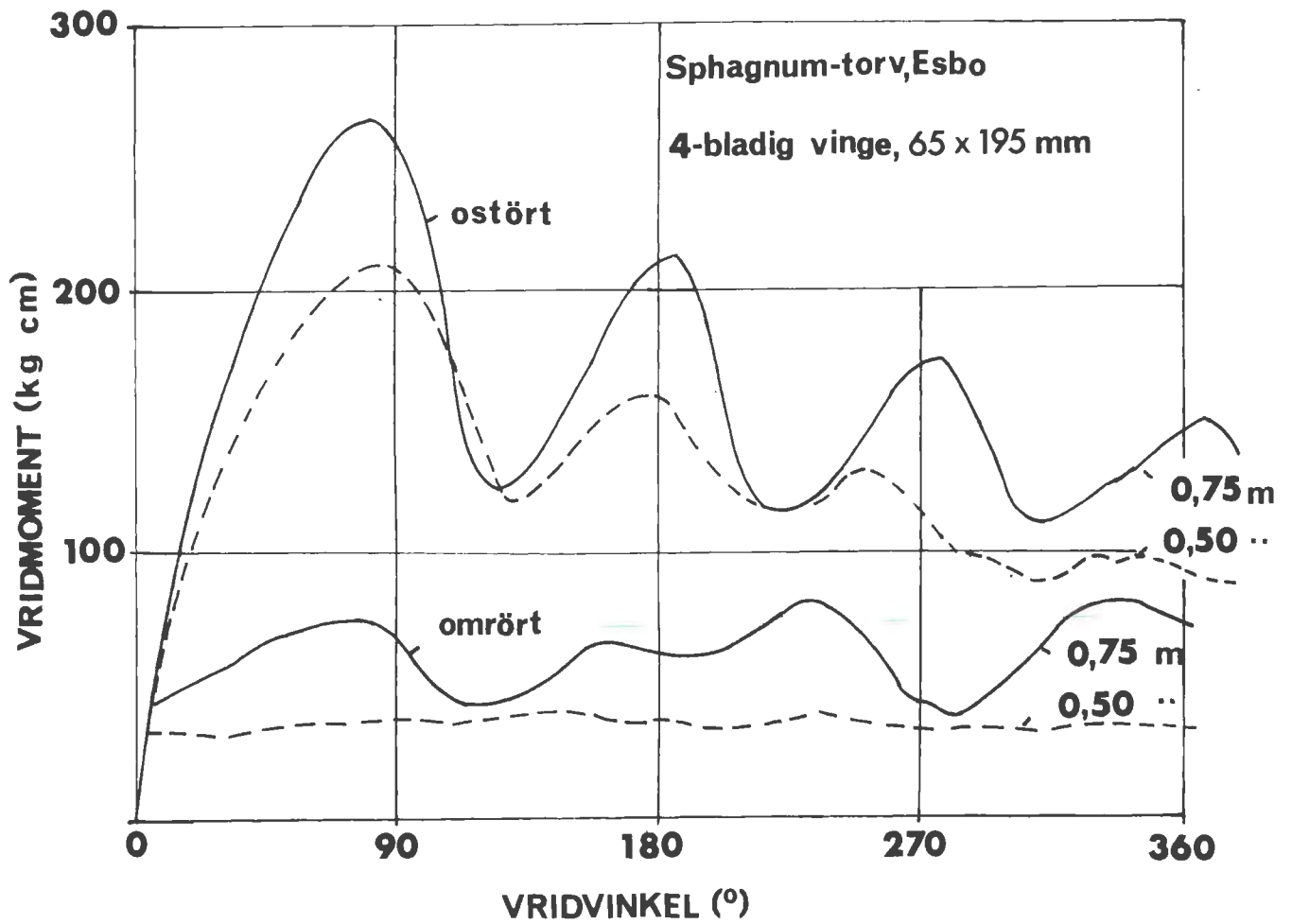


BILD 9. VRIDMOMENTETS VARIATIONER VID VINGBORR-FÖRSÖK I FIBRIG TORV.

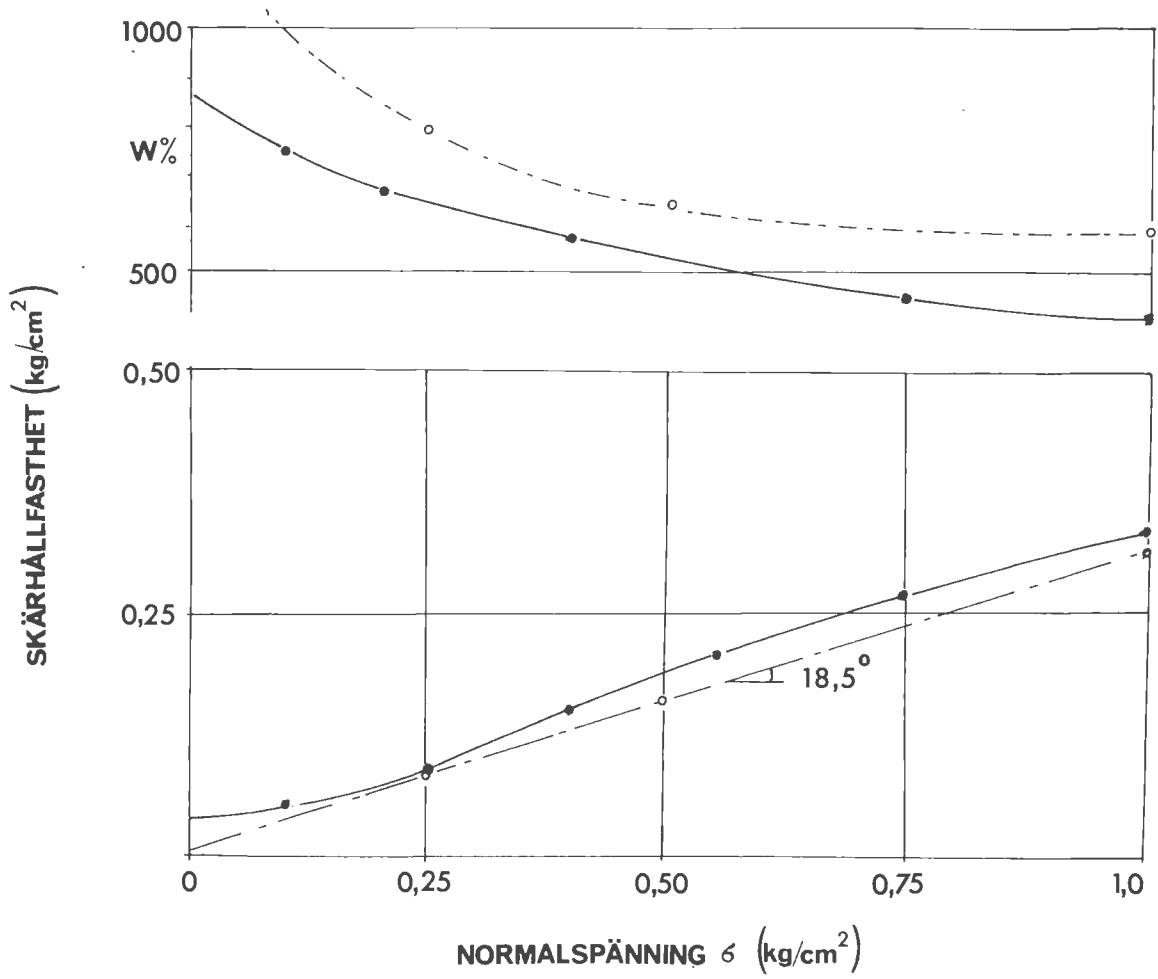


BILD 10. RESULTAT FRÅN KOMPRESSOMETER-SKÄRFÖRSÖK I CS-TORV (CU-FÖRSÖK I MELLANTORV).

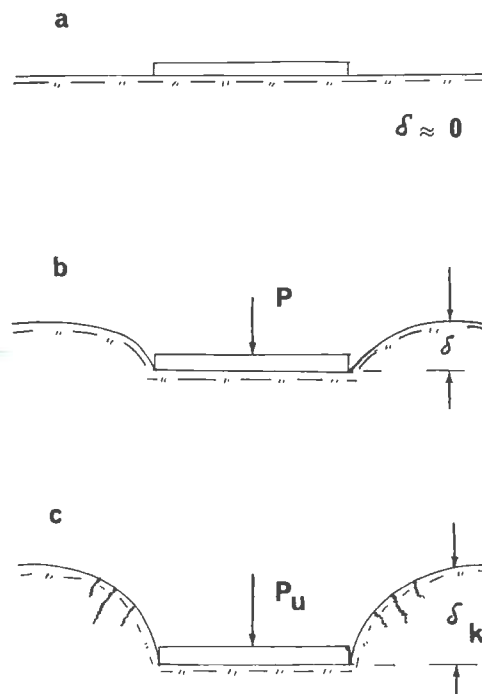


BILD 11. MARKYTANS DEFORMATIONER INVID EN STYV BELASTNINGSPLATTÅ PÅ TORV.

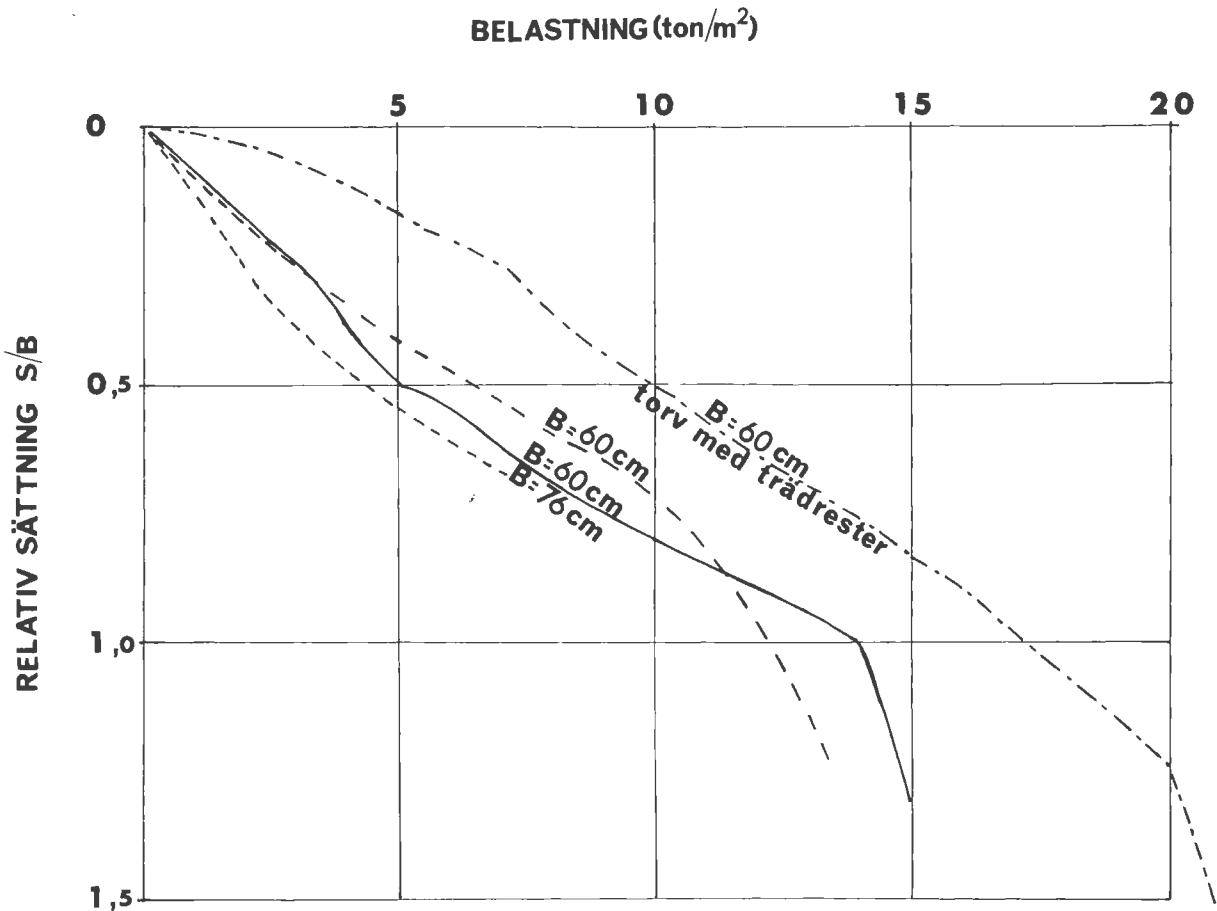


BILD 12. BELASTNINGS-SÄTTNINGSKURVOR ERHÅLLNA VID PROVBELASTNING PÅ SPHAGNUM-TORV (B = PROVPLATTANS DIAMETER).

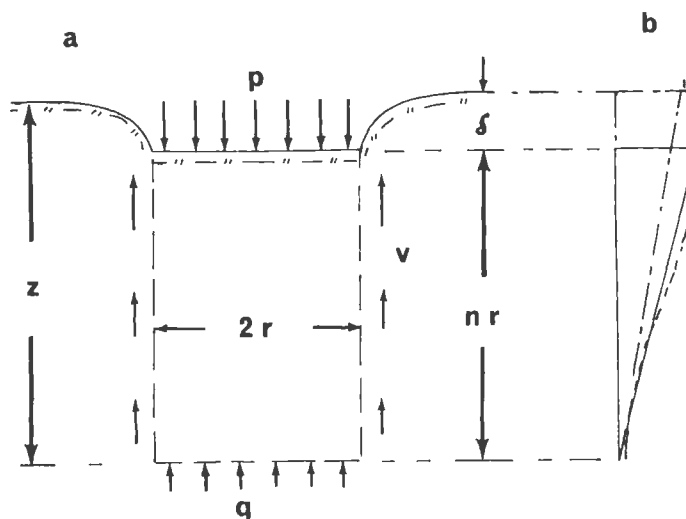


BILD 13. APPROXIMATIV METOD FÖR UPSKATTNING AV BÄRFÖRMÅGAN VID LOKALT BROTT I JORDART MED HÖG KOMPRESSIBILITET (a). MOBILISERINGEN AV PERIMETERMOTSTÅNDET LÄNGS KANTERNA AV EN KOMPRIMERAD TORVMASSA (b).

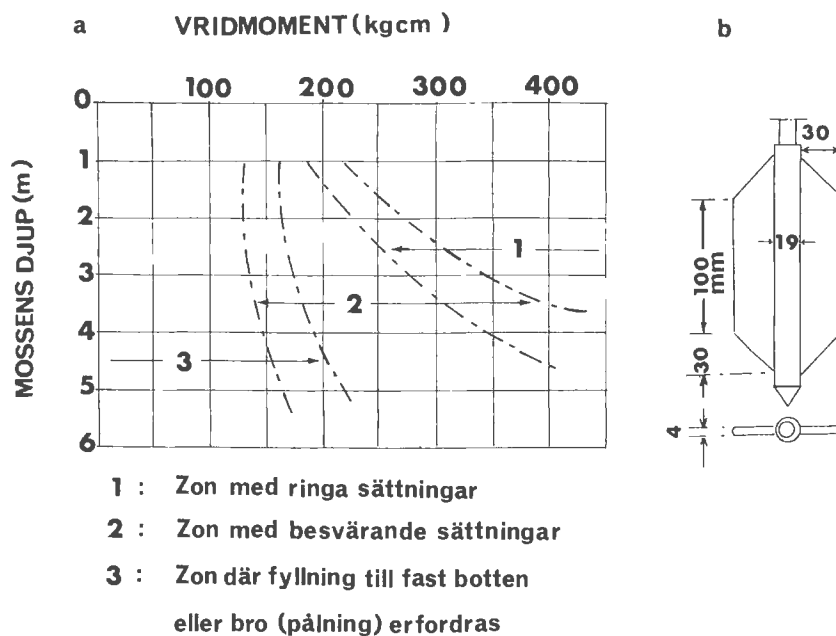


BILD 14. BEDÖMNINGSDIAGRAM FÖR UPPSKATTNING AV TORVMOSSARS BÄRIGHET VID SKOGSVÄGBYGGEN ENLIGT WEBER (1964).

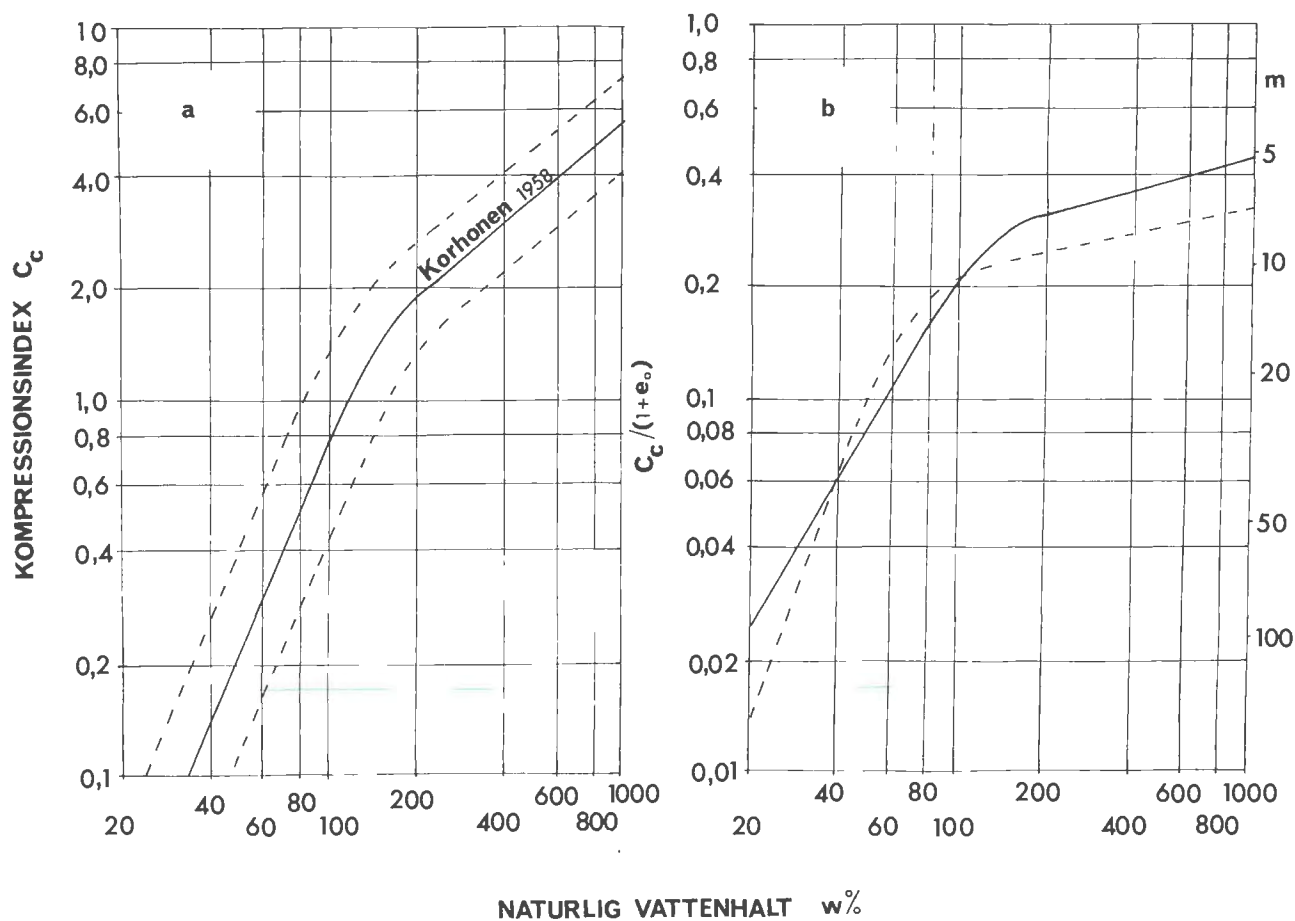


BILD 15. KOMPRESIONSINDEX (C_c), KOMPRESIONSKVOTEN ($C_c / (1 + e_0)$) OCH MODULTALET (m) SÅSOM FUNKTIONER AV JORDARTENS NATURLIGA VATTENHALT I ORGANISKA OCH OORGANISKA JORDARTER UNDERSÖKTA I SAMBAND MED LANTBRUKSSTYRELSENS DRÄNERINGSARBETEN.

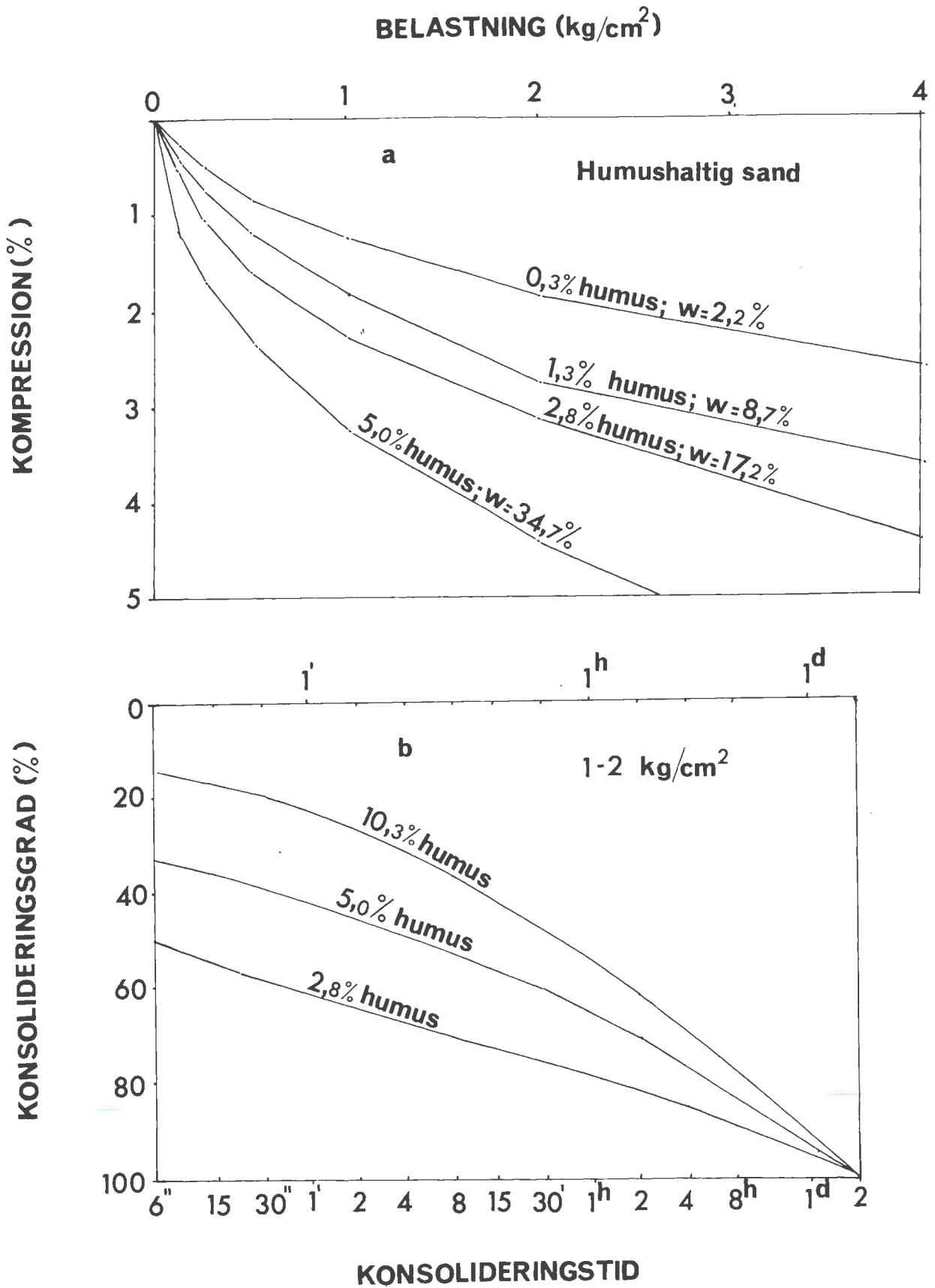


BILD 16. HUMUSHALTENS INVERKAN PÅ KOMPRES-
 SIONEN OCH DESS TIDSBEROENDE VID
 ÖDOMETERFÖRSÖK MED HUMUSHALTIG
 SAND.

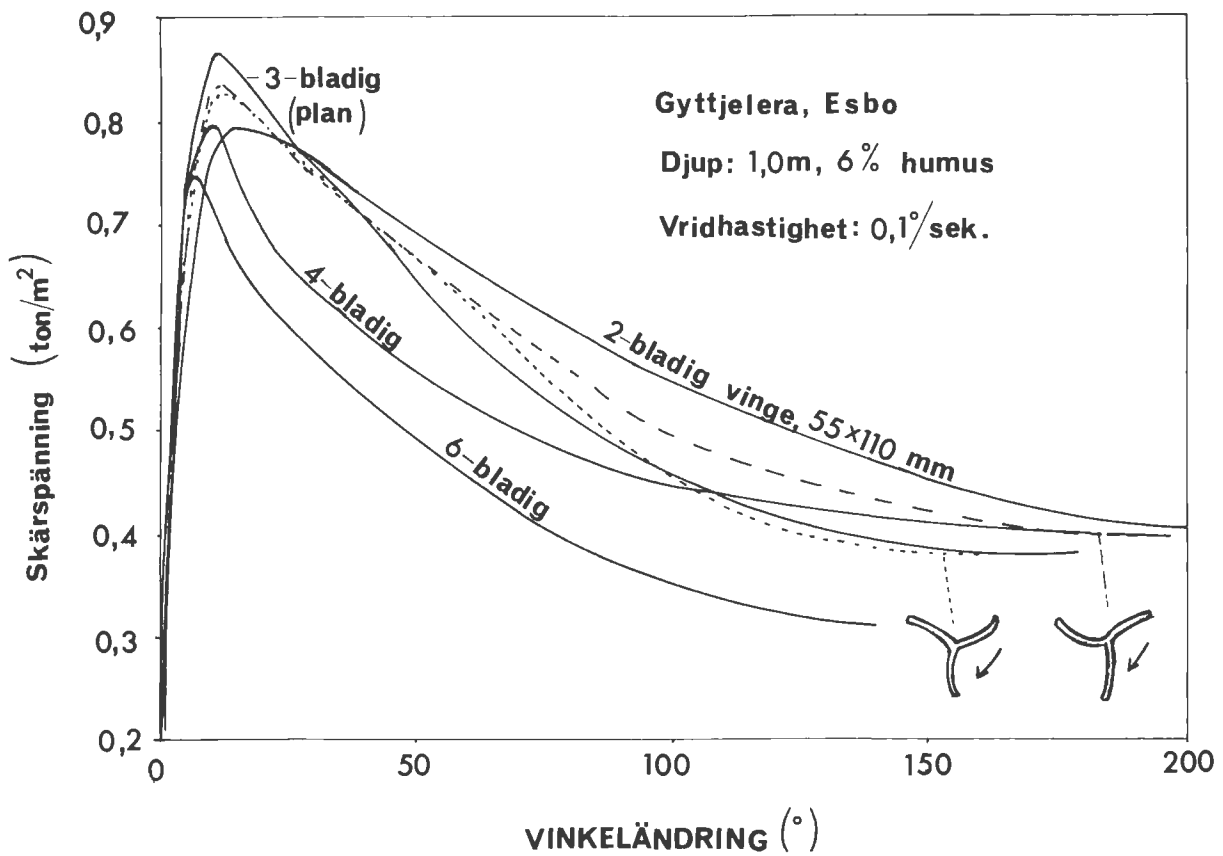


BILD 17. RESULTAT FRÅN VINGBORRFÖRSÖK MED OLIKA VING-TYPER I GYTTJELERA. EN TREBLADIG VINGBORR GER SOM SYNES HÖGRE SKÄRHÅLLFASTHET ÄN T. EX. EN FYRBLADIG VINGBORR.

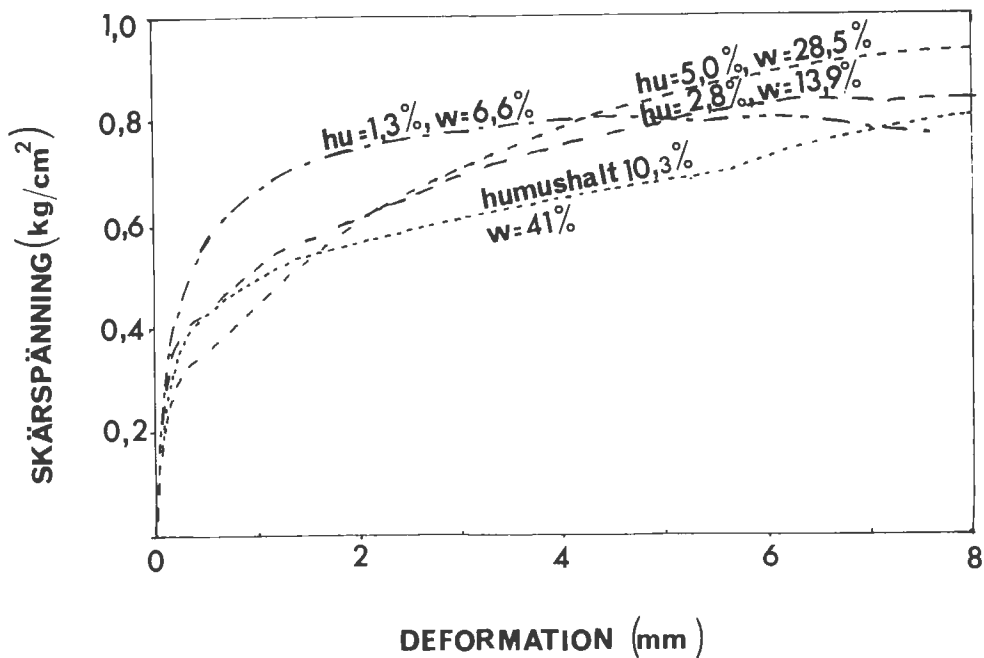


BILD 18. SKÄRSPÄNNINGS-DEFORMATIONS-KURVOR ERHÅLLNA VID SKÄRFÖRSÖK MED SAND MED VARIERANDE HUMUSHALT.