

Conefaktor i Søvindmergel, Septarieler og fedt moræneler

Nik Okkels

GEO, Danmark, nio@geo.dk

Marianne Bondo Hoff

GEO, Danmark, mbh@geo.dk

Morten Rasmussen

GEO, Danmark, msr@geo.dk

Abstract: I forbindelse med geotekniske undersøgelser i Jylland er der ved sammenligning af spidsmodstandsmålinger fra tryksonderinger (CPT) og vingeforskydningsmålinger fra forede geotekniske boringer bestemt cone faktorer for nogle af de meget fede tertiære ler, der findes i dette område af Danmark samt for fedt moræneler, som ofte træffes i det østjyske område.

1 Indledning

Det er sparsomt, hvad der i tidens løb er publiceret vedrørende bestemmelse af cone faktorer for de mange forskellige jordarter, der findes i det danske område. Der foreligger derfor danske geoteknikere en stor opgave med at få denne korrelationsfaktor bestemt. Denne artikel tager hul på at løse denne opgave ved at fremlægge resultaterne fra 5 forskellige undersøgelser udført i det jyske område.

2 CPT-forsøg

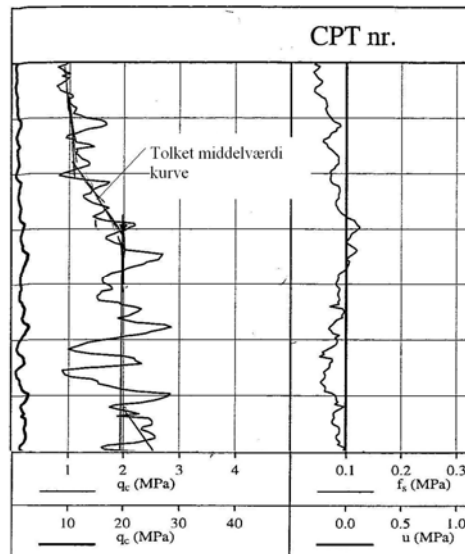
Cone Penetration Test (CPT) er tryksonderinger udført efter en standard forsøgsprocedure. GEO udfører forsøgene efter ISSMFE, 1999 og anvender sonder af typen TSP med et tværsnitsareal på sonden på 1000 mm². Forsøgene udføres ved at presse en sonde ned i jorden med en kontinuert hastighed på 20 mm/s. Under forsøget registreres modstanden på sondens spids og overflademodstanden på en kappe umiddelbart over spidsen. Det maksimale modhold GEO's landbaserede CPT-rig kan mobilisere er 90 kN. Resultaterne rapporteres i et CPT-diagram, hvor spidsmodstanden q_c , kappemodstanden f_s , friktionsforholdet R_f (f_s/q_c) og eventuelt poretrykket u fremgår som funktion af dybden. /1/, /2/ og /5/

3 Vingeforsøg

Vingeforskydningsmålingerne c_v er udført med dybvinger i forede boringer. Der udføres typisk 2 forsøg pr. meter boring. Vingen er ophængt i en friktionsfri kobling i boreværkets mægler for at undgå nedsynkning under målingen. Desuden er der under borearbejdet udført ”dummi-”vingeforsøg for at sikre, at der ikke er modstand, når vingen drejes uden at være presset ned i jorden. Disse tiltag betyder, at der kan ses bort fra friktion på stangsystemet.

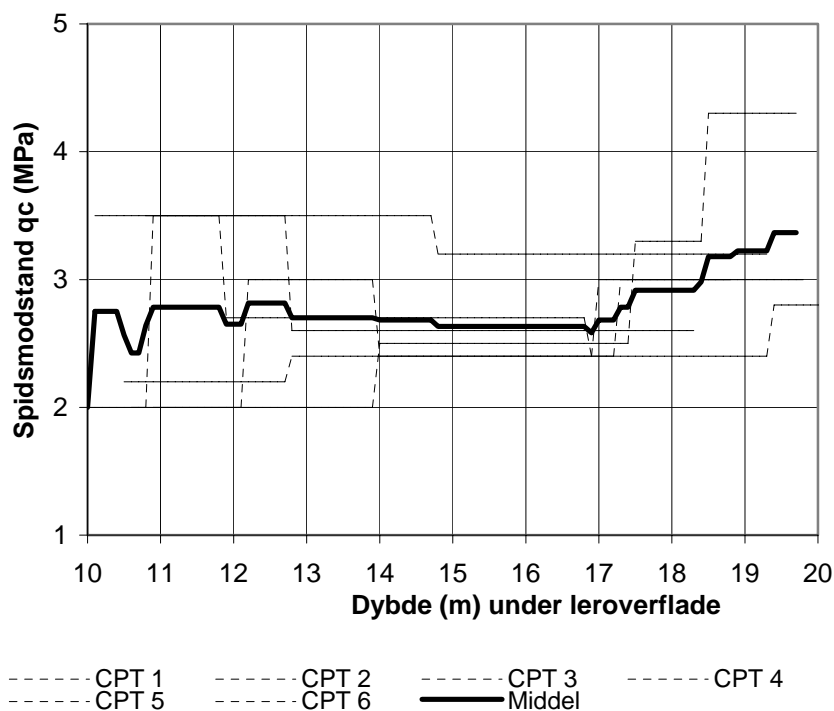
4 Sammenligningsmetode

Måleværdierne sammenlignes på følgende måde: Spidsmodstandsmålingerne q_c fra tryksonderingerne udjævnes først for hvert enkelt forsøg. Dette udføres i praksis ved at sikre at de afskårne arealer over og under den udjævnede kurve bliver lige store. På figur 4.1 er vist en typisk udjævningskurve for en af de tryksonderinger, der er undersøgt.



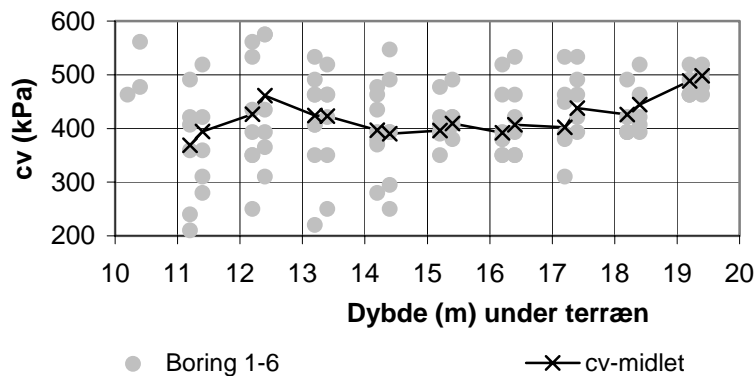
Figur 4.1 Typisk udjævning af en spidsmodstandskurve fra tryksonderingsdiagrammet.

Herefter er der beregnet en middelværdikurve for alle de tryksonderinger, der er udført ved de geotekniske boringer i forbindelse med den pågældende undersøgelse – se figur 4.2.



Figur 4.2 Beregning af middelværdikurven ud fra de udjævnede spidsmodstandskurver

Vingeforskydningsstyrkerne behandles tilsvarende ved først at beregne middelværdier af alle de vingeforskydningsmålinger, der er udført i samme måleniveau – se figur 4.3.



Figur 4.3 Beregning af middelværdier af vingeforskydningsmålinger

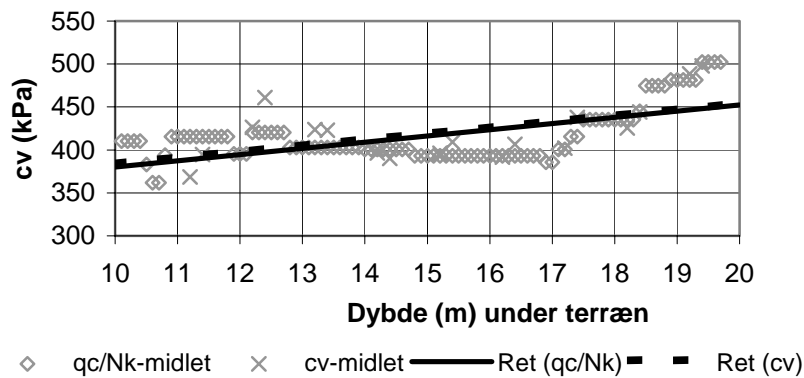
Conefaktoren - eller divisoren N_k - bestemmes nu ved at sammenligne disse middelværdier med den værdi, der kan aflæses af middelværdikurven for tryksonderingerne i samme måleniveau. Dette sker i praksis ved i samme diagram at optegne middelværdien af vingeforskydningsmålingerne c_v og middelværdien af spidsmodstandsmålingerne delt med cone faktoren - dvs. q_c/N_k - og korrigerer sidstnævnte ved at justere på cone faktoren indtil det bedst mulige fit med vingeforskydningsmålingerne er opnået (se fx figur 5.1).

5 Case 1 – Søvindmergel fra lokalitet 1 på Århus Havn

I forbindelse med et byggeprojekt på Århus Havn er der udført 6 geotekniske borer ca. 1 m fra 6 udvalgte CPT-sonderinger.

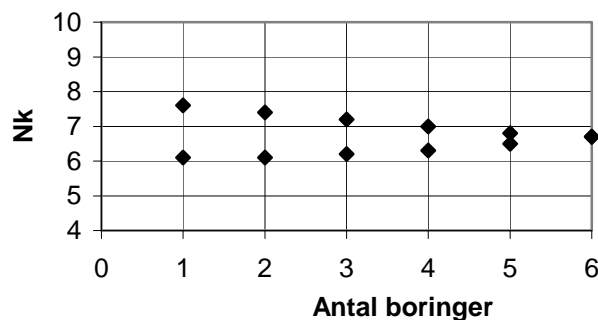
Ved undersøgelsen er der fra terræn i kote + 2 fundet ca. 10 m fyld, der er udlagt på Søvindmergel. søvindmergel er en meget fed (plastisk), sprækket tertiært ler, som er karakteriseret ved sit høje kalkindhold, der giver mergelen sin typiske næsten hvide farve. Kalkindholdet varierer meget over korte afstande, og der findes således næsten kalkfrie, sorte lag og kalkfattige, mørke lag indlejret i formationen. Der er målt kalkindhold mellem 0 og 60 % omkring en middelværdi på ca. 25 %. Mergelens naturlige vandindhold varierer på lokaliteten mellem 35 og 53 % omkring en middelværdi på 44 %, og plasticitetsindekset, der påvirkes kraftigt af kalkindholdet, varierer mellem 50 % (stærkt kalkholdigt ler) og 200 % (kalkfrit ler) omkring en middelværdi på ca. 105 %. Søvindmergelen er stærkt forbelastet med en forbelastningsspænding σ_{pc} , der skønmæssigt er i størrelsesordenen 1500 kPa ($\sim 4 \cdot c_v$) svarende til, at OCR er 10-12.

Efter retningslinierne i afsnit 4 er der beregnet dels en middelværdikurve for vingeforskydningsstyrkemålingerne (c_v) og dels en samlet middelværdikurve for de tilhørende 6 udjævnedes spidsmodstandskurver (q_c/N_k). Resultatet er vist på figur 5.1, og som det fremgår, så er den bedste korrelation mellem de to kurver opnået med en divisor $N_{k,cv} = 6,7$. Af figuren fremgår endvidere, at der ikke ser ud til at være en dybdefaktor.



Figur 5.1. Korrelation mellem middelværdikurverne for c_v og q_c/N_k med $N_k = 6,7$

Når man sammenligner vingeforskydningsmålingerne og spidsmodstandsmålingerne i hver af de 6 udvalgte undersøgelsespunkter viser det sig, at N_k -værdierne ligger i intervallet mellem 6,0 og 7,5. Der er således en betydelig spredning, hvilket betyder, at N_k -værdien er afhængig af antallet af korrelationsboringer. Figur 5.2 illustrerer således det mulige udfaldsrum, såfremt der kun var blevet udført 1, 2, 3, 4 eller 5 af de 6 boringer, der rent faktisk er udført.



Figur 5.2 Muligt udfaldsrum for N_k med de udførte boringer

Ifølge figuren så ser det ud til, at der skal udføres mindst 5 boringer, hvis man ønsker en rimelig sikker bestemmelse af N_k for Søvindmergel på denne lokalitet på Århus Havn. Det betyder, at man i forbindelse med løsning af praktiske opgaver - hvor der sjældent gives mulighed for at lave mere end nogle få korrelationsboringer - normalt vil være tvunget til at støtte sig til sin a priori viden om den pågældende jordart.

Friktionsforholdet (R_f) i Søvindmergelen ligger typisk omkring 4,4, men varierer en del ned gennem formationen (minimum ca. 2 og maksimum ca. 6). Målingerne viser, at R_f og N_k er ukorrelerede.

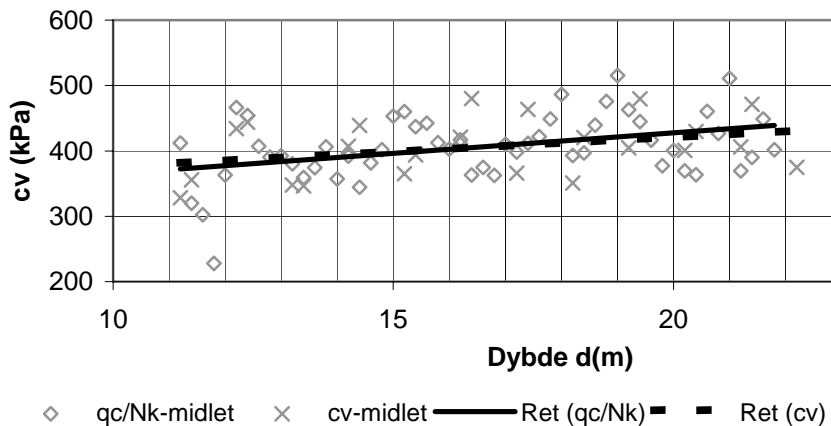
6 Case 2 – Søvindmergel fra lokalitet 2 på Århus Havn

I forbindelse med en anden undersøgelse, som har omfattet hele den nordlige del af Århus Havn, er der udført 5 geotekniske boringer ca. 1 m fra et tilsvarende antal tryksonderinger.

I undersøgelsespunkterne er der fra terræn i cirka kote + 2 fundet cirka 11 m fyld, der er udlagt over Søvindmergel af samme type, som beskrevet i case 1, afsnit 5. I disse boringer

varierer mergelens naturlige vandindhold mellem 32 og 57 % og plasticitetsindekset I_p varierer mellem 68 og 168 % omkring en middelværdi på ca. 100 %.

Efter retningslinierne i afsnit 4 er der for de 5 sammenfaldende undersøgelsespunkter beregnet dels en middelværdikurve for vingeforskydningsstyrkemålingerne (c_v) og dels en samlet middelværdikurve for de tilhørende udjævnede spidsmodstandskurver (q_c/N_k). Resultatet er vist på figur 6.1, og som det fremgår, så er den bedste korrelation mellem de to kurver opnået med en divisor $N_{k,cv} = 7,6$.



Figur 6.1 Korrelation mellem middelværdikurverne for c_v og q_c/N_k med $N_k = 7,6$

Friktionsforholdet (R_f) i Søvindmergelen ligger omkring 3,9, men varierer en del gennem formationen (minimum 1,0 og maksimum 9,2).

7 Case 3 – Septarieler og Søvindmergel fra Århus C

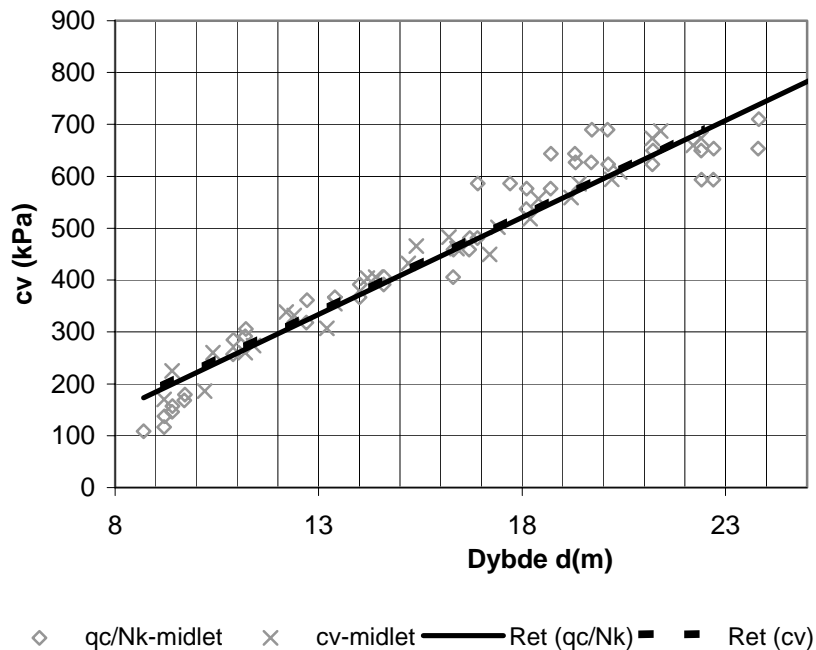
I forbindelse med et byggeprojekt i centrum af Århus By er der udført 6 tryksonderinger (CPT) og 6 geotekniske borer indendfor et 2000 m² stort byggefelt.

Ved undersøgelsen er der fra terræn i kote +3,5 truffet 2 - 3 m fyld, der er udlagt på marint postglaciale aflejringer bestående af sand og grus med lag af gytje. Fra 8 - 10 meters dybde er truffet meget fedt, sprækket tertiært ler i form af septarieler (Viborgler) underlejret af Søvindmergel.

Lerets naturlige vandindhold varierer på lokaliteten mellem 35 og 46 % omkring en middelværdi på ca. 38 % i Septarieleret og en middelværdi på ca. 41 i Søvindmergelen. Septarielerets plasticitetsindeks er ca. 68 %, mens Søvindmergelens plasticitetsindeks ligger omkring 100 %. Friktionsforholdet er ca. 4-6 % i septarieleret og omkring 2-4 % i Søvindmergelen. Forbelastningsspænding σ_{pc} , der skønsmæssigt er i størrelsesordenen 1700-2600 kPa ($\sim 4 \cdot c_v$) svarende til en OCR på ca. 10-11.

Efter retningslinierne i afsnit 4 er der beregnet dels en middelværdikurve for vingeforskydningsstyrkemålingerne (c_v) og dels en samlet middelværdikurve for de 6 udjævnede spidsmodstandskurver (q_c/N_k). Resultatet er vist på figur 7.1, og som det fremgår, så er den bedste korrelation mellem de to kurver opnået med en divisor $N_{k,cv} = 6,0$. Af figuren fremgår endvidere, at der ikke ser ud til at være en dybdefaktor. Conefaktoren ser således ud til at være uafhængig af om forsøgene bliver udført i septarieler eller i Søvindmergel. Det

betyder samtidig, at conefaktoren hverken afhænger af plasticitetsindeks eller af friktionsforhold.



Figur 7.1 Korrelation mellem middelværdikurverne for c_v og q_c/N_k med $N_k = 6,0$

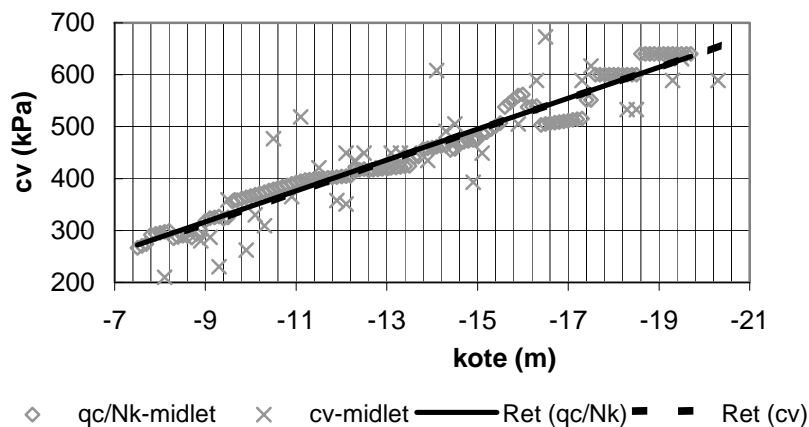
8 Case 4 – Fedt moræneler fra Århus Vest

I forbindelse med et byggeprojekt i den vestlige del af Århus er der udført 8 tryksonderinger (CPT) og 3 geotekniske borer indenfor et 1300 m² stort byggefelt.

Der er i byggefeltet udlagt 4-5 m fyld på postglaciale aflejringer bestående af gytje og ler. Herunder er der fundet senglaciale smeltevandsler og fra ca. 11-14 meters dybde, hvilket svarer til kote -7,5 til -9,5, er der fundet ret fedt - fedt moræneler.

Morænelerets naturlige vandindhold varierer mellem 12,5 og 21 % omkring en middelværdi på ca. 18 %, mens lerets plasticitetsindeks varierer mellem 22 og 27 % omkring en middelværdi på ca. 24 %. Friktionsforholdet er ca. 4 %. Forbelastningsspænding σ_{pc} , der skønmæssigt er i størrelsesordenen 800 kPa ($\sim 4 \cdot c_v$) svarende til en OCR på ca. 5-6.

Efter retningslinierne i afsnit 4 er der beregnet dels en middelværdikurve for vingeforskydningsstyrkemålingerne c_v og dels en samlet middelværdikurve for de 6 udjævnede spidsmodstandskurver (q_c/N_k). Resultatet er vist på figur 8.1, og som det fremgår, så er den bedste korrelation mellem de to kurver opnået med en divisor $N_{k,cv} = 7,5$. Af figuren fremgår endvidere, at der ikke ser ud til at være en dybdefaktor.



Figur 8.1 Korrelation mellem middelværdikurverne for c_v og q_c/N_k med $N_k = 7,5$

Resultat $N_k = 7,5$ er væsentlig lavere end den værdi, der i sin tid blev fundet for Storebælt morænen ($N_k = 10$) /4/.

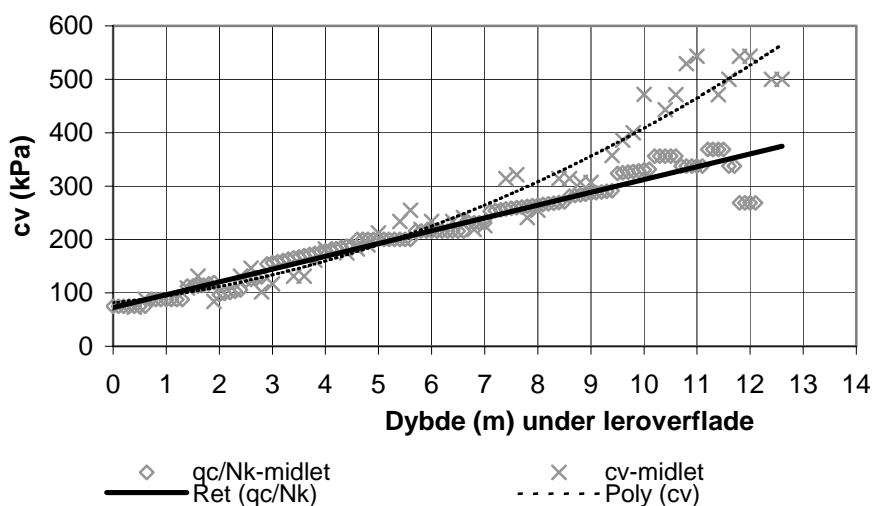
9 Case 5 – Skive Septarieler

I forbindelse med et byggeprojekt midt i Skive er der udført 2 geotekniske borer og ca. 1 m fra 2 udvalgte tryksonderinger (CPT).

Ved undersøgelsen er der under et nuværende terræn beliggende i kote ca. +2,5 fundet fyld udlagt over postglaciale aflejringer bestående af vekslende sand og gytje til mellem 2 og 12 meters dybde. Herunder er der generelt fundet såkaldt Skive Septarieler, som er en meget fed, sprækket tertiært ler.

Septarielerets naturlige vandindhold varierer på lokaliteten mellem 34 og 47 % omkring en middelværdi på 36 %, mens plasticitetsindekset varierer mellem 62 % og 73 % omkring en middelværdi på ca. 67 %. Leret er stærkt forbelastet med en forbelastningsspænding σ_{pc} , der skønmæssigt er i størrelsesordenen 2000 kPa (ca. $4 \cdot c_v$) svarende til, at OCR er 10-12. Friktionsforholdet (R_f) er ca. 4,1.

Efter retningslinierne i afsnit 4 er der beregnet dels en middelværdikurve for vingeforskydningsstyrkemålingerne (c_v) og dels en samlet middelværdikurve for de tilhørende 2 udjævnede spidsmodstandskurver (q_c/N_k). Resultatet er vist på figur 9.1, og som det fremgår heraf, så er den bedste korrelation mellem de to kurver opnået med en divisor $N_{k,cv} = 8,0$. Den bedste overensstemmelse er opnået for små dybder, og det kunne se ud til, at der er tendens til, at divisoren falder mod 6,0 med stigende dybde under formationens overside. Korrelationen er imidlertid så svag, at tendensen næppe er signifikant under hensyntagen til det relativt lille datamateriale.



Figur 9.1 Korrelation mellem middelværdikurverne for c_v og q_c/N_k med $N_k = 8,0$

10 Konklusion

Resultaterne er sammenfattet i nedenstående skema:

| Jordart | I_p | R_f | $N_{k,cv}$ |
|---|-------------|--------|------------|
| Søvindmergel fra Århus Havn - lokalitet 1 | 105 % | 4,4 | 6,7 |
| Søvindmergel fra Århus Havn - lokalitet 2 | 100 % | 3,9 | 7,6 |
| Søvindmergel fra Århus Havn - lokalitet 1 + 2 | 102 % | 4,2 | 7,1 |
| Septarieler og Søvindmergel fra Århus C | 67 og 100 % | 5 og 4 | 6,0 |
| Fedt moræneler fra Århus Vest | 24 % | 4,0 | 7,5 |
| Skive Septarieler | 67 % | 4,1 | 8,0 |

Når c_u efterfølgende fastlægges ud fra c_v , skal der tages hensyn til, at både septarieleret og Søvindmergelen er sprækkede. For de fleste brudtyper kan man jævnfør /3/ regne $c_u = c_v/3$. Der findes dog visse tvungne brudformer, hvor $c_u = c_v$. Det gælder fx for brud langs pæles overflade.

11 Referencer

- /1/ International Reference Test Procedure for the Cone Penetration Test (CPT), Report of the ISSMGE Technical Committee 16, 1999
- /2/ Dgf-Bulletin 14, Felthåndbogen, august 1999
- /3/ Geoteknisk Institut (GEO) Bulletin no. 7, 1959
- /4/ Dgf-Bulletin 7, June 1991, Correlation of CPT and Field Vane Tests for Clay Tills
- /5/ Cone Penetration Testing in geotechnical practice, T. Lunne, P.K. Robertson and J.J.M. Powell, 1997