MAG.

RAPPORTARKIV

Laboratorieserien

Rapport nr. 65

VEGDIREKTORATET
Biblioteket
Pb. 8142 Dep, 0033 Oslo
E-post: biblvd@vegvesen.no

Sammenheng mellom bæreevnegrupper og CBR-verdier

13 ty 03063

Vegdirektoratet
Biblioteket
003927TY0

November 1994

Statens vegvesen
Veglaboratoriet

Statens vegvesen
Vegdirektoratet

Laboratorieserien, rapport nr. 65

Sammenheng mellom bæreevnegrupper og CBR-verdier

Sammendrag

Veglaboratoriet har utarbeidet et edb-program for forsterkning basert på dimensjoneringsnivå 2. Mens kravet til indeksverdi etter dimensjoneringsnivå 2 er basert på trafikkmengde og CBR-verdi, er kravet i dimensjoneringsnivå 1 basert på trafikkmengde og bæreevne-klasse. For å sikre at dimensjonering etter nivå 1og 2 samsvarer, har en behov for etablere sammenhenger mellom bæreevneklasser og CBR-verdier.

Dette er forsøkt gjort i denne rapporten. I rapporten har en sett på direkte sammenhenger mellom jordarter/bæreevneklasser og CBR-verdier. En har videre forsøkt å omregne sammenhenger mellom bæreevnegrupper og E-modul respektivt DCP-verdier til korrelasjoner med CBR.

En har kommet frem til følgende sammenhenger mellom bæreevnegrupper og CBR-verdier i teleløsningen:

Material	CBR-verdier om våren
Overbygningen	
Vm i bærelag, T1	80
Vm i bærelag, T2	40
Grus i forsterkningslag, T1	40
Grus i forsterkningslag, T2	25
Underbygning	
Bæreevnegruppe 1	15
Bæreevnegruppe 2	15
Bæreevnegruppe 3	9
Bæreevnegruppe 4	6
Bæreevnegruppe 5	4
Bæreevnegruppe 6	2

Emneord: *Bæreevnegrupper, CBR*

Seksjon: *48 - Bærelag*
Saksbehandler: *Tore Slyngstad* /KMS
Dato: *November 1994*

Statens vegvesen, Vegdirektoratet
Veglaboratoriet
Rapporten kan fås ved henvendelse til Veglaboratoriet, Arkivet:
Postboks 8142 Dep, 0033 Oslo. Telefon: 22 07 39 00 Telefax: 22 07 34 44

Innhold

Side

Forord

1. Innledning

2. Sammenheng mellom jordarter/bæreevnegrupper og CBR-verdier
2.1 Generelt
2.2 Arbeider utført i andre land
2.3 Norske arbeider

3. Sammenheng mellom bæreevnegrupper og CBR-verdier avledet fra falloddsmålinger

4. Sammenheng mellom bæreevnegrupper og CBR-verdier avledet fra DCP-målinger

5. Sammenheng mellom bæreevnegrupper og CBR-verdier funnet etter sammenlikning av dimensjonering etter 018 (1980) og AASHTO (1986)

6. Vurderinger og konklusjoner

7. Litteratur

Vedlegg 1 Jordartsklassifisering etter Unified Soil Classification System, AASHTO og British Standard Soil Classification System

Forord

Veglaboratoriet har utarbeidet et edb-program, Dimto, for beregning av bæreevne og forsterkning basert på dimensjoneringsnivå 2. Dette programmet forutsettes å gi samme midlere forsterkning som ved bruk av dimensjoneringsnivå 1. Et ledd i arbeidet med å kalibrere dimensjoneringsnivå 2 til nivå 1 er å etablere sammenhenger mellom bæreevnegrupper og CBR-verdier. Denne rapporten forsøker å påvise slike sammenhenger.

Arbeidet med Dimto ble startet sommeren 1991. Programmet benytter nedbøyningsmålinger til å påvise lagenes lastfordelende evner. Sammen med lagtykkelsene kan *opptredende* indeksverdier bestemmes. *Kravene* til indeksverdier er en funksjon av materialenes styrke, uttrykt ved CBR-verdi, og trafikkmengde.

Da en bestemte seg for å knytte indekskrav til CBR-verdier, var det av hensiktsmessighet. Krav til indeksverdier bør antakelig i fremtiden knyttes til f.eks. et fundamentalt uttrykk for materialenes skjærstyrke-egenskaper.

1. Innledning

Statens Vegvesen har benyttet to ulike metoder for bestemmelse av bæreevne; nedbøyning og oppgraving. Når bæreevnen bestemmes ved hjelp av nedbøyningsmålinger, benytter en ved beregningen bare nedbøyningen i 2 punkter og vegens trafikkbelastning. En tar ikke hensyn til hvilke materialer som er benyttet i vegkroppen. Bestemmes bæreevnen med basis i oppgravingsdata, vurderer en utelukkende materialtyper, tykkelser og vegens trafikkbelastning. En tar ikke hensyn til vegens faktiske oppførsel. Begge metoder har således åpenbare svakheter.
Ved bæreevnebestemmelse etter dimensjoneringsnivå 2 forsøker en å bestemme bæreevnen med basis i såvel vegkroppens oppbygging som dens faktiske oppførsel. Ved metoden benyttes nedbøyningsmålinger til etterregning av lagenes E-moduler. Disse oversettes videre til lastfordelingskoeffisienter. DCP-verdier omregnes til CBR-verdier, som danner utgangspunkt for fastlegging av indekskrav. Bæreevnebestemmelse etter dimensjoneringsnivå 2 bør kalibreres til verdier tilsvarende de en får ved dimensjonering etter nivå 1.
For kalibrering av metoden er det viktig å kjenne sammenhengen mellom bæreevnegruppene benyttet i dimensjoneringsnivå 1 og CBR-verdiene benyttet i dimensjoneringsnivå 2. Denne rapporten er et forsøk på å påvise slike sammenhenger.

En har i kapittel 2 forsøkt å påvise direkte sammenhenger mellom bæreevnegrupper/materialgrupper og CBR-verdier. I kapittel 3 har forsøkt å utlede slike sammenhenger basert på etterregnede E-moduler og generelle sammenhenger mellom E-moduler og CBR-verdier. I kapittel 4 har en forsøkt å påvise sammenhenger mellom bæreevnegrupper/ materialgrupper og CBR-verdier omregnet fra DCP-målinger. I kapittel 5 har en vurdert hvilke E-moduler AASHTO dimensjonering (1986) forutsetter for de enkelte bæreevnegruppene. Deretter er E-modulene tilbakeregnet til CBR-verdier. Resultatene fra kapittel 2, 3, 4 og 5 er vurdert i kapittel 6. I dette kapitlet har en også oppsummert konklusjonene.

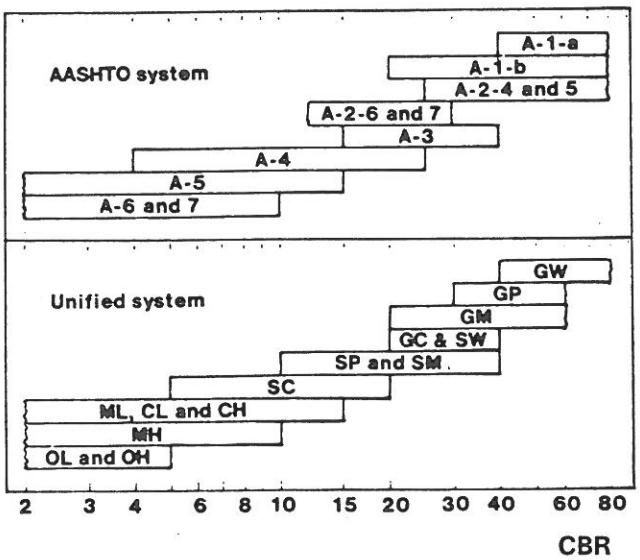
Denne rapporten er en rask gjennomgang av oppsamlet litteratur og skal danne basis for en justering av bæreevnebestemmelsen etter dimensjoneringsnivå 2. Rapportens intensjon er ikke å gi utfyllende svar, men midlertidig å bedre vår kunnskapsbasis.

2. Sammenhenger mellom jordarter/bæreevnegrupper og CBR-verdier

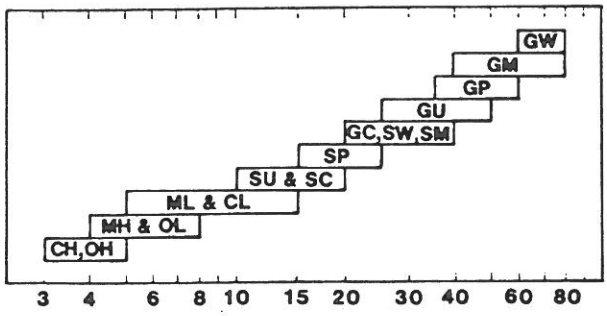
2.1 Generelt

US Highway Research Board og US Corps of Engineers har påvist følgende sammenhenger mellom jordarter og CBR-verdier [1], se figur 1.

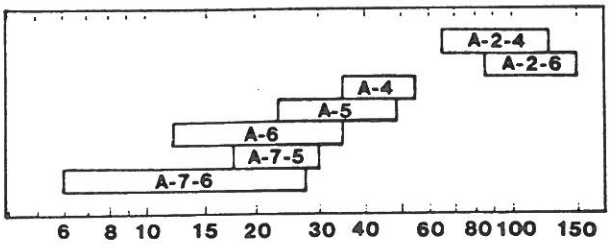
Approximate relationships between soil classes and CBR values (after Liu).



Approximate relationships between Unified soil classes and CBR values (after US Army Corps of Engineers, 1970).



Approximate relationships between AASHTO soil classes and CBR values for South American red tropical soils (after Morin and Todor, 1975).



Figur 1. Sammenhenger mellom jordarter klassifisert etter AASHTO/Unified System og CBR-verdier [1].

Sammenhengen mellom britiske jordarter og CBR-verdier er vist i tabell 1. CBR-verdiene er funnet etter standardkompaktering ved naturlig vanninnhold. Nøyaktig densitet og vanninnhold er imidlertid ikke kjent.

Tabell 1. Estimerte CBR-verdier i laboratoriet for britiske jordarter kompaktert ved naturlig vanninnhold.

Type of soil	*Plasticity index* (%)	*CBR* (%) *Depth of water-table below formation level*	
		More than 600mm	*600mm or less*
Heavy clay	70	2	1
	60	2	1.5
	50	2.5	2
	40	3	2
Silty clay	30	5	3
Sandy clay	20	6	4
	10	7	5
Silt	—	2	1
Sand (poorly graded)	non-plastic	20	10
Sand (well graded)	non-plastic	40	15
Well-graded sandy gravel	non-plastic	60	20

En har i vedlegg 1 gjengitt jordartsbeskrivelsene til Unified Soil Classification System, AASHTO og British Standard Soil Classification System. En har også gjengitt sammenhengen mellom de enkelte jordartsbetegnelsene [1]. I det følgende har en forsøkt å innordne disse jordartene i det norske systemet med bæreevnegrupper, se tabell 2.

En har deretter tilordnet CBR-verdier til norske bæreevnegrupper basert på figur 1 og tabell 1, se tabell 3.

Tabell 2. Sammenheng mellom norske bæreevnegrupper og jordarter etter Unified Soil Classification System, AASHTO og British Standard Soil Classification System.

Bæreevnegrupper	Unified Soil Classification System	AASHTO	British Standard Soil Classification System
B.gr. 1 Fjellskjæring, steinfylling, T1		A-1-a	
B:gr. 2 Grus, sand, Cu ≥ 10, T1	GW,SW	A-1-a,A-1-b	GW,SW
B.gr. 3 Grus, sand, Cu(10, T1 Fjellskjæring, steinfylling, T2	GW/GP,SW/SP	A-1-a,A-1-b,A-3	GP,SW
B.gr. 4 Grus, sand, morene, T2	[Grensetilfelle]	A-2-4,A-2-5,A-2-6,A-2-7	G-M,G-C,S-M,S-C
B.gr. 5 Grus, sand, morene, T3	GM,GC,SM,SC	A-2-4,A-2-5,A-2-6,A-2-7	GM,GC,SM,SC,MG,CG
B.gr. 6 Leire, silt, T4	ML,CL,MH,CH	A-4,A-5,A-6,A-7	MS,CS,M,C,MG,CG
B.gr. 7 Myr	Pt	A-8	Pt

Tabell 3. CBR-verdier for de enkelte bæreevnegrupper etter resultatene vist i figur 1 og tabell 1.

Bæreevnegrupper	CBR-verdier		
	Unified Soil Classification System	AASHTO	British Standard Soil Classification System
B.gr. 1 Fjellskjæring, steinfylling, T1		A-1-a, 40-80 + +	
B:gr. 2 Grus, sand, Cu ≥ 10, T1	GW, 40-80 + + [Liu] 60-80[USACE] SW, 20-40 [Liu] 20-40[USACE]	A-1-a, 40-80 + + A-1-b, 20-80 + +	GW, 20-60 SW, 15-40
B.gr. 3 Grus, sand, Cu⟨10, T1 Fjellskjæring, steinfylling, T2	GW, 40-80 + + [Liu] 60-80[USACE] GP, 30-60 + + [Liu] 35-60[USACE] SW, 20-40 [Liu] 20-40[USACE] SP, 10-40 [Liu] 15-25[USACE]	A-1-a, 40-80 + + A-1-b, 20-80 + + A-3 , 15-40	GP, SW, 10-20
B.gr. 4 Grus, sand, morene, T2	[Grensetilfelle]	A-2-4, 25-80 + + A-2-5, 25-80 + + A-2-6, 12-30 A-2-7, 12-30	G-M,G-C,S-M,S-C
B.gr. 5 Grus, sand, morene, T3	GM, 20-60 + + [Liu] 40-80[USACE] GC, 20-40 [Liu] 20-40[USACE] SM, 10-40 [Liu] 20-40[USACE] SC, 5-20 [Liu] 10-20[USACE]	A-2-4, 25-80 + + A-2-5, 25-80 + + A-2-6, 12-30 A-2-7, 12-30	GM,GC,SM,SC,MG,CG
B.gr. 6 Leire, silt, T4	ML, -2-15 [Liu] 5-15[USACE] CL, -2-15 [Liu] 5-15[USACE] MH, -2-10 [Liu] 4-8[USACE] CH, -2-15 [Liu] 3-5[USACE]	A-4, 4-25 A-5, -2-15 A-6, -2-10 A-7 -2-10	Silt , 1-2 Sandy clay (PI = 20), 4-6 (PI = 10), 5-7 Silty clay (PI = 30), 3-5 Heavy clay(PI = 40), 2-3 (PI = 50), 2-2.5
B.gr. 7 Myr	Pt	A-8	Pt

Australske retningslinjer for dimensjonering [2] forutsetter følgende dimensjonerende CBR-verdier når målinger ikke er foretatt , se tabell 4.

Tabell 4. Dimensjonerende CBR-verdier etter australske retningslinjer [2].

Undergrunnsmaterial		Typiske CBR-verdier %	
Material	USC klassifisering	Godt drenert	Dårlig drenert
Svært plastisk leire Silt	CH ML	5	2-3
Siltig leire Sandig leire	CL SC	6-7	4-5
Sand	SW, SP	15-20	-

Livneh [3] har gjengitt flere sammenhenger mellom CBR-verdier og vingeboringsresultat. Blant annet har han oppgitt den følgende :

$$CBR = 4{,}79 * S^{0.63} \qquad \{1\}$$

hvor S = Vingeboringsresultat i kg/cm^2.

Dersom en tar utgangspunkt i inndelingen av grunnen i grupper etter dens udrenerte skjærfasthet og benytter foranstående likning, får en CBR-verdier som vist i tabell 5[1].

Tabell 5. Beregnet CBR-verdier for bæreevnegruppe 6 etter likning {1}.

Bæreevnegruppe 6 (leire)			
Område		Midlere verdi	
Su (kN/m^2)	CBR	Su (kN/m^2)	CBR
≥ 50	≥ 3.1	60	3.5
≥ 37.5 ; < 50	≥ 2.6 ; < 3.1	44	2.9
≥ 25 ; < 37.5	≥ 2.0 ; < 2.6	31	2.3
< 25	< 2.0	20	1.7

[1] Carter [1] oppgir sammenhengen mellom CBR og kohesjon til : CBR=0.09*c,hvor c=kohesjon i kN/m^2.

2.3 Norske arbeider

På slutten av 1960-årene ble følgende CBR-verdier anslått for de enkelte bæreevnegruppene :

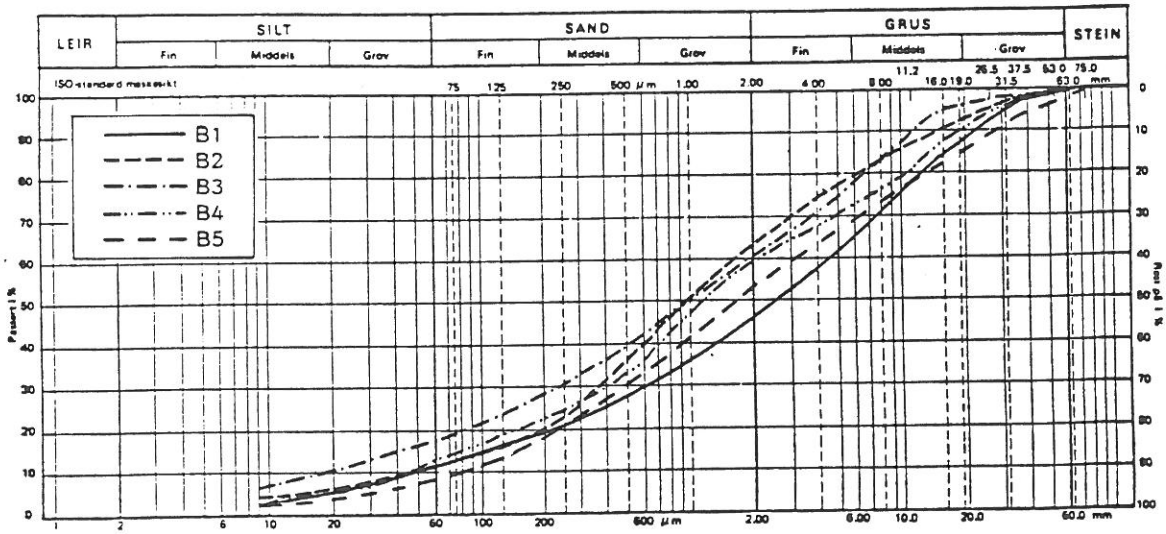
Bæreevnegruppe	2,	CBR_{soaked}	=	30
"	3,	"	=	7
"	4,	"	=	3
"	5,	"	=	2
"	6,	"	=	1

Senere er det gjennomført atskillige CBR-undersøkelser, men opprinnelige anslag for sammenhengen bæreevnegrupper/CBR-verdier har ikke blitt vurdert på nytt. En vil her kort gjennomgå noen nyere resultater.

Sintef Vegteknikk har på oppdrag fra Vegdirektoratet, Lab utført felt- og laboratorieundersøkelser med blant annet CBR- og DCP-utstyr på utvalgte veger/steder i Trøndelag [4]. En har undersøkt både bærelagsmaterialer og undergrunnsmaterialer. Oppdraget ble påbegynt i 1991.

Bærelagsmaterialer

De undersøkte materialene har egenskaper som vist i figur 2 og tabell 6.



Figur 2. Korngradering for undersøkte bærelagsmaterialer [4].

Tabell 6. Egenskaper for undersøkte bærelagsmaterialer [4].

Material	Modifisert Proctor			Mekaniske egenskaper		
	Optimalt vanninnhold, %	Maksimal tørrdensitet, kg/dm³	100 % Modofisert Proctor i felt, kg/dm³	Flisighet	Sprøhet	Andel korn med minst en bruddflate, %
1	5.2	2.197	2.269	1.39	46	28
2	6.3	2.202	2.245	1.39	50	45
3	5.3	2.296	2.314	1.32	39	73
4	5.3	2.245	2.297	1.35	44	34
5	5.8	2.261	2.335	1.39	43	79

Resultatene for densiteten i felt er dessverre beheftet med vesentlig usikkerhet. Bedømmingen av CBR-verdiene fra laboratorie-undersøkelsene er dermed også usikker. Følgende anslag er gjort utifra det grunnlagsmaterialet som er frembragt via Sintef-oppdraget, se tabell 7. Verdiene er tatt ut ved 95 og 98 % Mod.Pr. tilsvarende kravene til bære- og forsterkninglag. I tillegg har en angitt resultater oppnådd om våren med DCP-målinger i felt og omregnet disse til CBR-verdier etter likning 9.

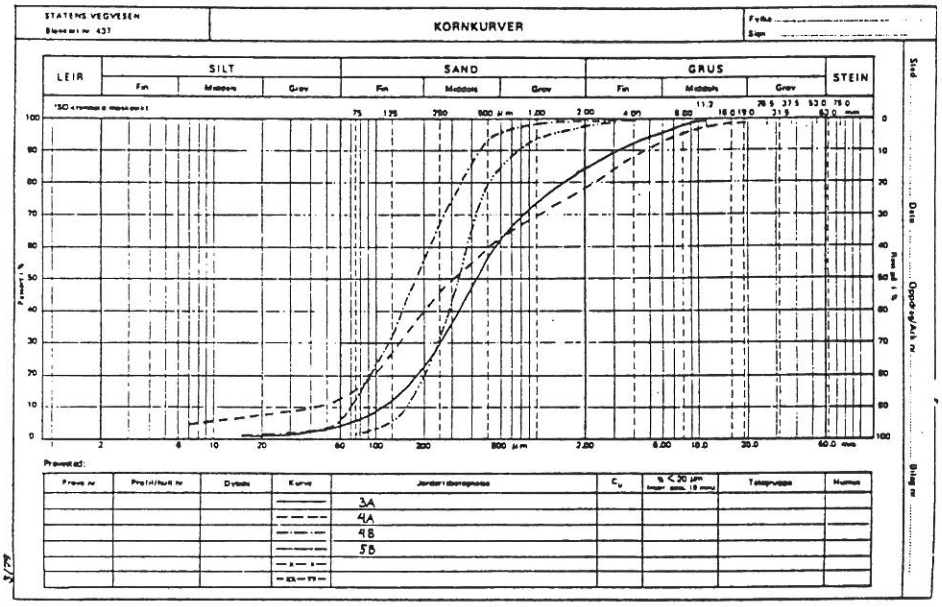
Tabell 7. CBR-verdier for bærelagsmaterialer, tatt fra veg, funnet ved optimalt vanninnhold og etter oppfukting i 4 døgn.

Material	DCP-verdier fra felt (cbr-verdier omregnet etter likning 9)	CBR-verdier			
		Uten vannlagring		Vannlagret i 4 døgn	
		95 % Mod.Pr.	98 % Mod.Pr.	95 % Mod.Pr.	98 % Mod.Pr.
1	3.3-4.1 (76.6-61.2)	32	55	20	45
2	3.0-7.3 (84.5-33.1)	33	55	21	55
3	9.2-13.1 (25.7-17.4)	35	65	24	55
4	5.8-7.5 (42.4-32.1)	52	85	22	55
5	3.2-5.0 (79.1-49.6)	43	75	37	65

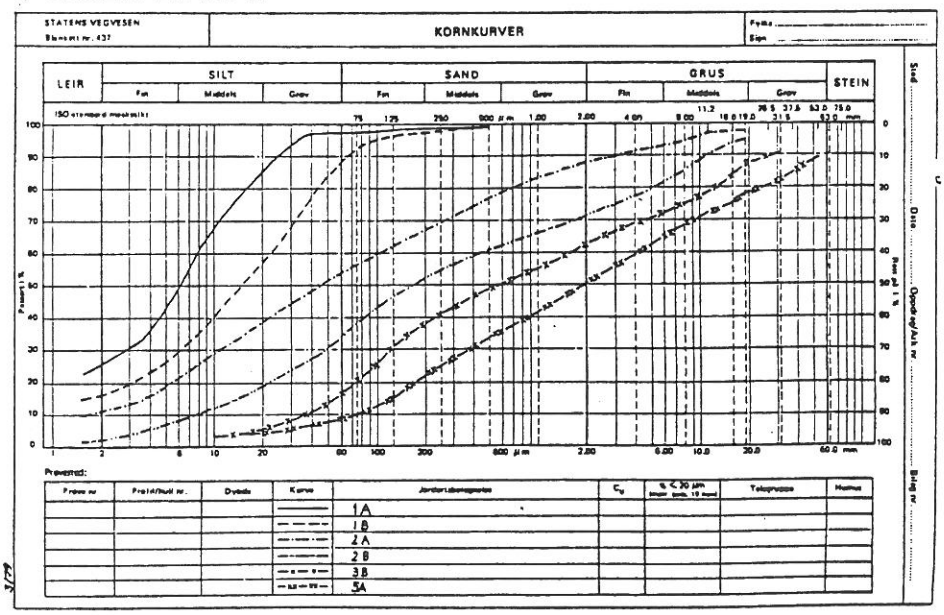
Undergrunnsmaterialer

Materialene som er undersøkt, er vist i figur 3 og tabell 8 med resultater for korngradering, densitet, DCP og CBR. Undergrunnsmaterialene har ved CBR-testingen blitt belastet tilsvarende bærelagsmaterialene (2 blylodd).

a) Materialene med Cu < 15



b) Materialene med Cu > 15



Figur 3. Korngradring for undersøkte undergrunnsmaterialer [4].

Tabell 8. Egenskaper for undergrunnsmaterialer.

Materiale				Densitet	Komp. grad	DCP (Felt)	DCP (lab)*		CBR (lab)*	
Kode	Type	Tele	BG	g/cm³	% Mod.Pr.		Ikke-vannl.	vannl.	Ikke-vannl.	vannl.
1A	Leire			1.65	-	40 (26-64)				
1B	Silt			1.51	-	85 (75-135)				
2A	Morene silt	T4	6	1.62	77	15 (10-22)	70	>100 (200?)	3	0.1
2B	Morene sandig silt	T4	6	1.88	83	20 (13-29)	28	>100 (150?)	9	0.4
3A	Sand	T1	3	1.82	86	7 (5.7-11)	100	>100 (140?)	5.5	2.5
3B	Morene sand	T2	4	1.75	79	30 (27-39)	90	>100 (160?)	4	1.7
4A	Sand	T2	4	1.67	77	10 (9.7-13)	85	>100 (130?)	3.5	1.5
4B	Sand	T1	3	1.66	92	60 (50-77)	80	80	12	9
5A	Grus	T2	4	2.12	92	5.5 (5.0-6.7)	50	60	23	23
5B	Sand	T1	3	1.65	94	28 (26-40)	85	>100	18	11

* Verdiene er plukket ut ved angitt kompakteringsgrad, men med unntak av tilfeller der dette medfører ekstrapolering av verdier. I slike tilfeller har en benyttet verdier ved laveste målte kompakteringsgrad.

Resultatene som fremkommer i tabell 8 for samhørende DCP-resultater i felt og laboratorium er tildels svært forskjellige. Årsaken kan være problemer med fastlegging av korrekt densitet i felt, mangler ved uttak av materialer for testing i laboratoriet, eventuelt andre årsaker.

I det følgende har en også forsøkt å ta ut verdiene ved 90 % Mod.Pr. Alle undergrunnsmaterialer blir jo i praksis kompaktert betydelig i toppen. Derfor er det ikke usannsynlig med en gjennomsnittlig verdi på 90 %, se tabell 9. For å vurdere følsomheten for kompaktering har en i parentes satt verdiene for 85 % Mod.Pr.

Tabell 9. Egenskaper for undergrunnsmaterialer ved 90 (85) % av Mod. Pr.

Materiale				Densitet	Komp.g rad	DCP (Felt)	DCP (lab) 90 (85) % Mod.Pr.		CBR (lab) 90 (85) % Mod.Pr.	
Kode	Type	Tele	BG	g/cm3	% Mod.Pr.		Ikke-vannl.	vannl.	Ikke-vannl.	vannl.
1A	Leire			1.65	-	40 (26-64)				
1B	Silt			1.51	-	85 (75-135)				
2A	Morene silt	T4	6	1.62	77	15 (10-22)	14 (30)	67 (120?)	30 (12)	9 (0.8)
2B	Morene sandig silt	T4	6	1.88	83	20 (13-29)	9 (22)	75 (120?)	30 (11)	5 (1.2)
3A	Sand	T1	3	1.82	86	7 (5.7-11)	67 (120?)	95 (150?)[1]	9 (5.2)	7.5 (2,4)
3B	Morene sand	T2	4	1.75	79	30 (27-39)	20 (60)	95 (160?)	21 (9)	8 (1.7)
4A	Sand	T2	4	1.67	77	10 (9.7-13)	43 (83)	55 (125?)	14 (3.8)	10 (2.5)
4B	Sand	T1	3	1.66	92	60 (50-77)	88 (160?)[1]	80(140?)	9.5 (5?)	6.5 (2.5)
5A	Grus[2]	T2	4	2.12	92	5.5 (5.0-6.7)	67	>100	14	11
5B	Sand[2]	T1	3	1.65	94	28 (26-40)	>100	>100	8	7

1. Svært usikre verdier
2. Ekstrapoleringen ned til 85 % av Mod.Pr. er så stor at en ikke har funnet det riktig å ta ut verdier.

Det er sannsynlig at CBR-verdiene i øverste del av undergrunnen vil nærme seg til verdiene i tabell 9.
Lengre ned i undergrunnen vil densiteten og CBR-verdiene sannsynligvis avta.

Denne gjennomgangen av resultatene fra Sintef indikerer følgende resultater i topp undergrunn, dvs. materialer med 90 % Mod.Pr. og for forsterknings- og bærelagsmaterialer med 95 og 98 % Mod. Pr., se tabell 10.

Tabell 10. Korrelasjon mellom bæreevnegrupper og CBR-verdier.

Materialer			CBR-verdier	
Type	Bæreevnegruppe	Kompakteringsgrad	Ikke vannlagret	Vannlagret
Bærelagsmaterialer grus, T2 (5mat.) ved komp.krav som bærelag	(4)	98	67	55
Bærelagsmaterialer grus, T2 (5mat.) ved komp.krav som forsterkningslag	(4)	95	39	25
Sand (3 mat.)	3	90 (85)	9 (5)[1]	7 (2.5)[1]
Sand/Grus/Morene (3 mat.)	4	90 (85)	14-21 (4-9)[1]	8-11 (1.7-2.5)[1]
Morene -Silt/-Sandig silt (2 mat.)	6	90 (85)	30 (11)	5-9 (1)

1. Verdiene ved 85 % Mod.Pr. gjelder for 2 materialer

3. Sammenheng mellom bæreevnegrupper og CBR-verdier avledet fra falloddsmålinger

AASHTO [5] oppgir verdier som vist i tabell 11 for grunnens resilient modul i psi. AASHTO setter samtidig sammenhengen mellom psi og CBR til :

$$E = 1500 * CBR$$

hvor E = resilient modulen i psi

Tabell 11. Resilient-modul (psi) for grunnen som funksjon av årstiden etter AASHTO [5].

Relativ kvalitet for jordartene i grunnen	Årstid (Bestemmer jordarten vanninnhold)			
	Vinter (frossen)	Teleløsning (mettet)	Vår/høst (fuktig)	Sommer (tørt)
Svært god	20000	2500	8000	20000
God	20000	2000	6000	10000
Middels	20000	2000	4500	6500
Svak	20000	1500	3300	4900
Svært svak	20000	1500	2500	4000

Dersom resilient-modul verdiene omregnes etter uttrykket E = 1500*CBR, fremkommer verdiene oppgitt i tabell 12. Forholdet mellom CBR-verdiene for de ulike årstider er vist i tabell 13.

Tabell 12. Grunnens CBR-verdier som funksjon av årstiden etter AASHTO.

Relativ kvalitet for jordartene i grunnen	Årstid (Bestemmer jordartens vanninnhold)			
	Vinter (frossen)	Teleløsning (mettet)	Vår/høst (fuktig)	Sommer (tørt)
Svært god	13.3	1.7	5.3	13.3
God	13.3	1.3	4.0	6.7
Middels	13.3	1.3	3.0	4.3
Svak	13.3	1.0	2.2	3.3
Svært svak	13.3	1.0	1.7	2.7

Tabell 13. Forholdet mellom CBR-verdiene som funksjon av årstiden etter AASHTO. Vår/høst-forhold er gitt verdien 1.

Relativ kvalitet for jordartene i grunnen	Årstid (Bestemmer jordartens vanninnhold)			
	Vinter (frossen)	Teleløsning (mettet)	Vår/høst (fuktig)	Sommer (tørt)
Svært god	2.51	0.32	1.0	2.51
God	3.33	0.33	1.0	1.68
Middels	4.43	0.43	1.0	1.43
Svak	6.05	0.45	1.0	1.50
Svært svak	7.82	0.59	1.0	1.59

Det virker som AASHTO har en usannsynlig svak resilientmodul for frossen mark. I tillegg virker det som om CBR-verdiene for grunnen (utenom de svakeste jordartene) er for svak. Spesielt er teleløsningsverdiene svake. I tillegg er også verdiene for sommer-forhold svært lave for de svakeste jordartene (f.eks. leire).

I Sverige har en forsøkt å vurdere hvordan materialene i grunn og overbygning varierer med årstiden [6,7]. Følgende E-moduler er benyttet for materialer i *grunnen* for å beregne dimensjoner på vegoverbygninger, se tabell 14.

Tabell 14. Benyttede E-modul verdier (MPa) for materialer i grunnen ved vurdering av overbygningstykkelser [6].

Periode	Bärighetsklass					
	B1 Berg	B2 Icke tjälf $c_u \geq 5$	B3 Icke tjälf $c_u < 5$	B4 Måttl tjälf friktionsj	B5 Måttl tjälf kohesionsj	B6 Mycket tjälf
Vinter	600	1000	1000	1000	1000	1000
Tjällossn. - vinter	600	1000	1000	1000	1000	1000
Tjällossning	600	100	70	35	30	10
Senvår	600	125	85	50	40	20
Sommar	600	150	100	100	50	45
Höst	600	150	100	100	50	45

E-modulene i tabell 14 er tilbakeregnet til CBR-verdier etter uttrykket $E = 17.6 * CBR^{0.64}$. Siden en ikke kjenner til hvordan verdiene i tabell 14 har fremkommet, kan dette være gal fremgangsmåte. En har likevel fulgt den for å komme frem til estimat for CBR-verdier, se tabell 15.

Tabell 15. CBR-verdier beregnet fra E-verdiene i tabell 14.

Periode	Bärighetsklass					
	B1 Berg	B2 Icke tjälf $c_u \geq 5$	B3 Icke tjälf $c_u < 5$	B4 Måttl tjälf friktionsj	B5 Måttl tjälf kohesionsj	B6 Mycket tjälf
Vinter	248	551	551	551	551	551
Tjällossn. - vinter	248	551	551	551	551	551
Tjällossning	248	15	8.6	2.9	2.3	0.4
Senvår	248	21	12	5.1	3.6	1.2
Sommar	248	28	15	15	5.1	4.3
Höst	248	28	15	15	5.1	4.3

E-modul verdier som har vært benyttet for materialer i *overbygningen*, er som vist i tabell 16.

Tabell 16. Benyttede E-modul verdier (MPa) for ubundne materialer i overbygningen som tilfredsstiller kravene til BYA84 og BYA-nytt 86 [6].

Periode	Ubundne overbygingsmaterialer	
	Bærelag	Forsterkningslag av naturgrus
Vinter	1000	1000
Tjällossn. - vinter	100	1000
Tjällossning	200	100
Senvår	300	125
Sommar	300	150
Höst	300	150

Dersom en omregner disse verdiene til CBR, får en verdiene i tabell 17.

Tabell 17. CBR-verdier for ubundne materialer i overbygningen som tilfredsstiller kravene til BYA84 og BYA-nytt 86.

Periode	Ubundne overbygingsmaterialer	
	Bærelag	Forsterkningslag av naturgrus
Vinter	551	551
Tjällossn. - vinter	15	551
Tjällossning	45	15
Senvår	84	21
Sommar	84	28
Höst	84	28

E-modul verdier for *ubundne materialer* i overbygningen som tilfredsstiller kravene til *BYA Komplement 1/88 og 3/89* forutsettes å være som vist i tabell 18. Omregnet til CBR-verdier får en verdiene som er vist i tabell 19.

Tabell 18. E-modul verdier (MPa) for ubundne overbygningsmaterialer som tilfredsstiller kravene i BYA Komplement 1/88 og 3/89 [6].

Periode	Obundet överbyggnadsmaterial				
	Nytt bärlager	Nytt förstärkningslager Naturgrus	Krossgrus	Oindränkt fin- och mellanfrakt	Bergbank
Vinter	1000	1000	450	450	600
Tjällossn. - vinter	150	1000	450	450	600
Tjällossning	300	160	450	450	600
Senvår	450	240	450	450	600
Sommar	450	240	450	450	600
Höst	450	240	450	450	600

Tabell 19. CBR-verdier for ubundne overbygningsmaterialer som tilfredsstiller kravene i BYA Komplement 1/88 og 3/89.

Periode	Obundet överbyggnadsmaterial				
	Nytt bärlager	Nytt förstärkningslager Naturgrus	Krossgrus	Oindränkt fin- och mellanfrakt	Bergbank
Vinter	551	551	158	158	248
Tjällossn. - vinter	28	551	158	158	248
Tjällossning	84	31	158	158	248
Senvår	158	59	158	158	248
Sommar	158	59	158	158	248
Höst	158	59	158	158	248

Dersom en vurderer verdiene i tabell 18 og 19, virker verdien for bærelag i tidlig teleløsningen svært lav. Verdiene for krossgrus i forsterkningslaget er på den annen side svært høy i teleløsning og senvår.

Lennart Djärf har etterregnet undergrunnens E-modul fra en rekke falloddsmålinger etter uttrykket :

$$E_u \text{ (MPa)} = 5.2 * 10^4 * d_{900}^{-1.50} \qquad \{3\}$$

hvor d_{900} = nedbøyningen i μm i 90 cm avstand fra lastsentret

Noen av resultatene er gjengitt i tabell 20.

Tabell 20. E-moduler for grunnen i MPa etterregnet fra falloddsmålinger [7].

Soil type	E-moduler for materialer i grunnen (MPa)									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Clay II										
Silt, medium III										20-25 most frequent
Silt, coarse II										
Silty sand I										
Silt, fine III										
Silty clay III										
Sand, fine and medium I										
Silt, medium III										Fill 1 m
Sandy gravel and gravel I										
Silty till III										
Silty gravelly till II										
Sandy and sandy silty till II										≥100MPa
Coarse graded till (boulder frequent) I										> 200MPa

I en sammenstilling av sine resultater oppgir Djärf følgende verdier for grunnens E-modul, se tabell 21. I tabellen har en også oppgitt verdier omregnet til cbr.

Tabell 21. E-modul verdier for grunnen etterregnet fra falloddsmålinger. CBR-verdier er oppgitt i parentes.

Jordart	E-modul verdier (MPa) for ulike jordarter, CBR-verdier er oppgitt i parentes.				
	Vår	Sommer	Høst	Grunnvann	Klimasone
1. Leror och siltiga leror					
Finlera "Torrsk.lera"	25 (1.7) 40 (3.6)	35 (2.9) 40 (3.6)	50 (5.1) 50 (5.1)	H D	I -III
Mellanlera III Lättlera III (=Grovlera III)	18 (1.0) 25 (1.7)	25 (1.7) 35 (2.9)	40 (3.6) 50 (5.1)	H D	I - III
Varvig lera					
Moränlera					
II. Silt					
Mjäla III Mj Finmo III Finmo III Mo Mjäla III	18 (1.0) 25 (1.7)	25 (1.7) 35 (2.9)	40 (3.6) 50 (5.1)	H D	I - III
III. Moiga och sandiga jordar					
Mj mo II Grovmo II Sa Mo II Mo Sand II Le Sand II	30 (2.3) 35 (2.9)	40 (3.6) 40 (3.6)	50 (5.1) 50 (5.1)	H D	I - III
IV. Friktionsjord					
Grovmo I Mo Sand I Sand I Gr Sand I	50 (5.1)	50 (5.1)	50 (5.1)	H/D	I - VI
Sa Grus I Grus I	75 (9.6)	75 (9.6)	75 (9.6)	H/D	I - VI

Tabell 22. E-modul verdier for grunnen etterregnet fra falloddsmålinger. CBR -verdier er oppgitt i parentes.

Jordart	E-modul verdier (MPa) for ulike jordarter, CBR-verdier er oppgitt i parentes.				
	Vår	Sommer	Høst	Grunnvann	Klimasone
V. Moräner					
Mo Morän III le Mo Morän III	35 (2.9) 50 (5.1)	45 (4.3) 50 (5.1)	50 (5.1) 50 (5.1)	H D	I -III
Gr Mo Morän II Sa Mo Morän II Sa Morän II	60 (6.8) 75 (9.6)	75 (9.6) 75 (9.6)	75 (9.6) 75 (9.6)	H D	I - III
Gr Sa Morän I Blr Gr Sa Morän I	100 (15)	100 (15)	100 (15)	H/D	I - III
VI. Bergbank (sprängsten)					
Höjd < 1 m	75 (9.6)				
Höjd > 1 m	150 (28)				

4. Sammenheng mellom bæreevnegrupper og CBR-verdier avledet fra DCP-målinger

Det er utviklet mange sammenhenger mellom DCP og CBR-verdier. Det er nok å nevne verdiene til Livneh, Harison og Ese m. flere. For en 30° kon oppgir Livneh:

$$\log CBR = 2.20 - 0.71 * (\log DCP)^{1.5} \qquad \{4\}$$

Denne er nylig modifisert til :

$$\log CBR = 2.140 - 0.716 * (\log DCP)^{1.5} \qquad \{5\}$$

For en 60° kon har Harison kommet frem til følgende relasjon :

For DCP verdier mellom 1 og 10 : $\log CBR = 2.54 - 1.12 * \log DCP$ {6}
for DCP verdier ≥ 10 : $\log CBR = 2.56 - 1.16 * \log DCP$ {7}.

Ese m.flere har nylig foreslått uttrykket :

$$\log CBR = 2.438 - 1.065 * \log DCP \qquad \{8\}$$

Etter en vurdering av de gitte likninger foreslår en følgende relasjon mellom CBR og DCP :

$$\log CBR = 2.37 - (\log DCP)^{1.1} \qquad \{9\}$$

Den forskjellen de enkelte uttrykkene gir i beregnete CBR-verdier, er som vist i tabell 23.

Tabell 23. Omregninger fra DCP til CBR-verdier etter ulike formler.

DCP-verdier	CBR-verdier beregnet etter ulike uttrykk				
	log CBR = 2.20 - 0.71 * $(\log DCP)^{1.5}$	log CBR = 2.140 - 0.716 * $(\log DCP)^{1.5}$	For DCP verdier mellom 1 og 10 : log CBR = 2.54 - 1.12 * log DCP for DCP-verdier ≥ 10 : log CBR = 2.56 - 1.16 * log DCP	log CBR = 2.438 - 1.065 * log DCP	log CBR = 2.37 - $(\log DCP)^{1.1}$
2	121.0	105.1	159.5	131.0	126.8
3	92.5	80.2	101.3	85.1	84.5
5	61.0	52.7	57.2	49.4	49.6
10	30.9	26.5	25.1	23.6	23.4
20	14.0	12.0	11.2	11.3	10.8
30	8.4	7.2	7.0	7.3	6.8
50	4.2	3.6	3.9	4.3	3.8
100	1.6	1.3	1.7	2.0	1.7

Tidligere er det i rapporten referert til en undersøkelse som Sintef Vegteknikk [4] har utført for Vegdirektoratet. I denne undersøkelsen er det også gjennomført målinger av DCP-verdier over året. Resultatene er vist i tabell 8. Verdiene herfra er omregnet til CBR-verdier, se tabell 24.

Tabell 24. CBR-verdier beregnet fra målte DCP-verdier i felt.

Materiale				DCP-felt	CBR beregnet fra DCP
Kode	Type	Tele	B.Gr.		
1A	Leire	T4	6	40 (26-64)	5.0 (8.3-2.9)
1B	Silt	T4	6	85 (75-135)	2.1 (2.4-1.2)
2A	Morene silt	T4	6	15 (10-22)	15.7 (25.1-10.1)
2B	Morene sandig silt	T4	6	20 (13-29)	11.2 (18.5-7.3)
3A	Sand	T1	3	7 (5.7-11)	38.0 (48.2-22.5)
3B	Morene sand	T2	4	30 (27-39)	7.0 (7.9-5.2)
4A	Sand	T2	4	10 (9.7-13)	25.1 (26.0-18.5)
4B	Sand	T1	3	60 (50-77)	3.1 (3.9-2.4)
5A	Grus	T2	4	5.5 (5.0-6.7)	50.3 (56.1-40.0)
5B	Sand	T1	3	28 (26-40)	7.6 (8.3-5.0)

Dersom en studerer tabell 24, kan dette gi grunnlag for refleksjoner. Hvis en forutsetter at DCP-verdiene gir et visst grunnlag for å vurdere materialenes bæreevne, er det interessant å vurdere variasjonene i DCP-verdi for samme bæreevnegruppe. I bæreevnegruppe 6 varierer middelverdiene for DCP mellom 15 og 85. I bæreevnegruppe 4 mellom 5.5 og 30 og i bæreevnegruppe 3 mellom 7 og 60. *Dette indikerer at en bør vurdere langt nøyere grunnens bæreevne før en foretar en dimensjonering.* Grove inndelinger på basis av kornfordeling er ikke et godt nok grunnlag for dimensjonering. Dette er også i samsvar med resultatene vist i tabell 3.

Det kan på den annen side reises tvil om DCP er et riktig utstyr å benytte for slik vurdering. Når det likevel benyttes i dimensjoneringsnivå 2, er dette ikke uttrykk for at det er vurdert til å være et riktig valg , men snarere at en ikke har et mer praktisk og egnet utstyr for tiden.

5. Sammenheng mellom bæreevnegrupper og CBR-verdier funnet etter sammenlikning av dimensjonering etter 018 (1980) og AASHTO (1986).

I dette kapitlet har en forsøkt å beregne hvilken resilient-modul som AASHTO-reglene forutsetter for grunnen når en har overbygningskonstruksjoner etter 018 (1980). Beregningene er gjennomført for trafikkbelastninger med følgende ekvivalente 10 tonns aksler i dimensjoneringsperioden :

N = 0.1, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0 mill.

(De generelle dimensjoneringsreglene i 018 (1980) er identiske med de reglene som fortsatt gjelder for forsterkning etter 018 (1992.)

De verdier som er funnet for grunnens resilient-modul er omregnet til CBR-verdier etter uttrykkene :

(1) $E = 17.6 * CBR^{0.64}$

(2) $M_r(psi) = 1500 * CBR$ for CBR-verdier $\leq$ 10

Ved beregningene har det vært nødvendig å gjøre visse forutsetninger. De viktigste har vært :

lastfordelingskoeffisient for asfalt i dekket :	0.44
lastfordelingskoeffisient for asfalt i bærelaget :	0.32
lastfordelingskoeffisient for forsterkningslagsgrus :	0.11
Δpsi :	2.2

Ved overgangen fra "effective roadbed soil resilient modulus" har en benyttet følgende redusert modulverdi i teleløsningen på 1 måned :

bæreevnegruppe	1	100 % av sommerverdi
"	2	85 "
"	3	85 "
"	4	65 "
"	5	50 "
"	6	30 "

I tillegg har en i regelen benyttet 3-4 måneder betydelig forhøyet modulverdi (10-15 x)for å ta hensyn til vinterforhold og 2-3 måneder med svakt redusert modulverdi (85-90 %) for å ta hensyn til tidlig vår, sen vår og våt høst.

Resultatene er vist i figurene 4-5 for forholdene om sommeren og i teleløsningen.

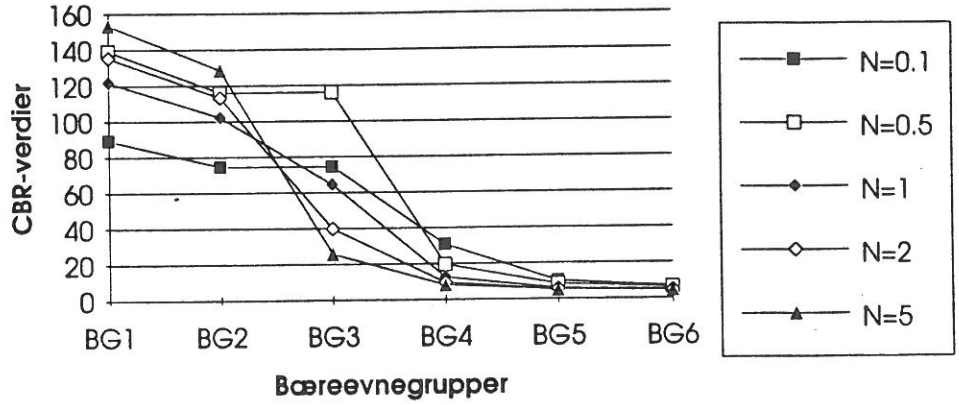
Resultatene viser at en i AASHTO vurderer trafikkens innvirkning svært forskjellig fra det som gjøres i Håndbok 018. Kurvene skulle i figurene 4a og 5a ligget samlet for alle N-verdier. I tabell 4b og 5b skulle linjene vært horisontale. Et visst fall i CBR-verdiene for økende N-verdier kan likevel forklares som at en bygger inn høyere sikkerhetsnivå ved høyere trafikkmengder.

AASHTO sammenlikningen gir følgende grove anslag på CBR-verdien om sommeren og i teleløsningen :

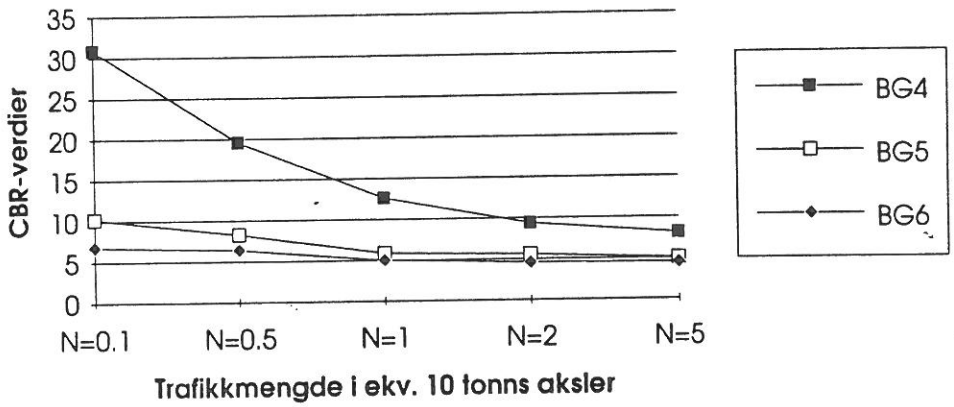
Tabell 25. CBR-verdier for bæreevnegruppene anslått etter AASHTO

Bæreevnegrupper	CBR-verdier			
	Teleløsning		Sommer	
	$M_r(psi) = 1500*CBR$	$E = 17.6*CBR^{0.64}$	$M_r(psi) = 1500*CBR$	$E = 17.6*CBR^{0.64}$
1		120		120
2		80		100
3		30		40
4	5	5	7	9
5	3	2	5	6
6	1	0.7	5	5

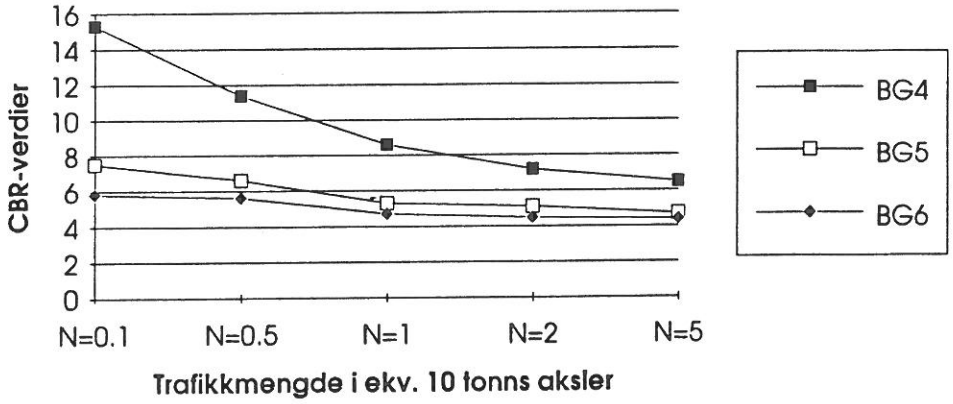
$E = 17.6 * CBR^{0.64}$



$E = 17.6 * CBR^{0.64}$

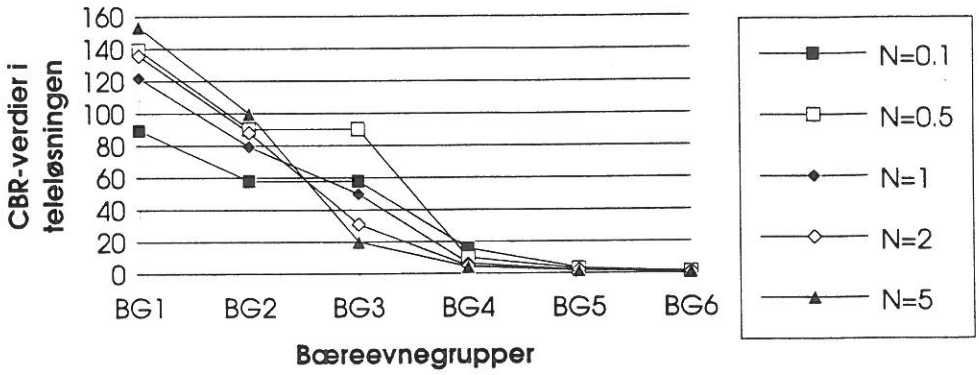


$M_r(psi) = 1500 * CBR$

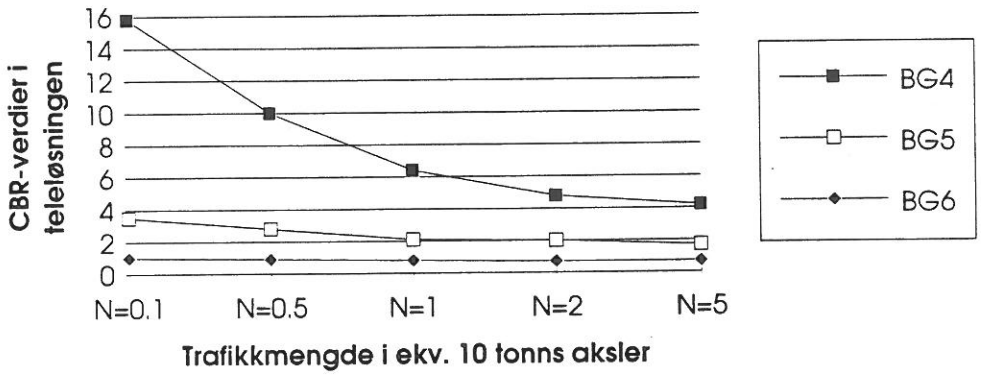


Figur 4. CBR-verdier beregnet for sommerforhold etter dimensjoneringsreglene til AASHTO.

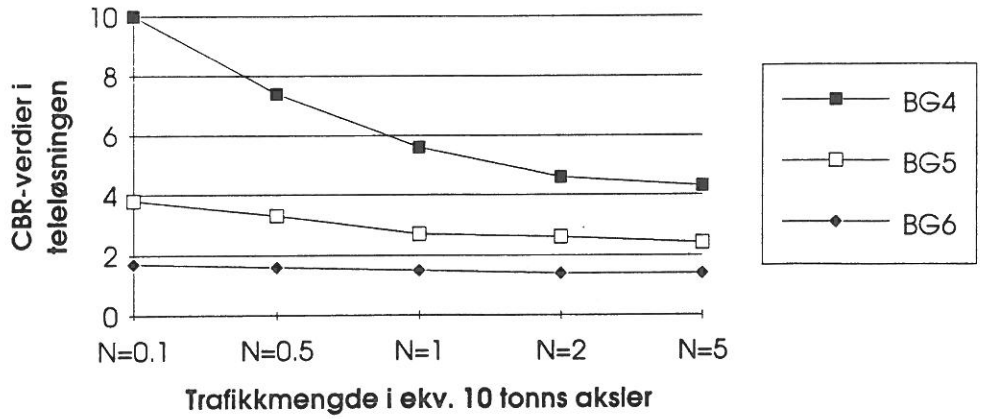
$E = 17.6 * CBR^{0.64}$



$E = 17.6 * CBR^{0.64}$



$M_r(psi) = 1500 * CBR$



Figur 5. CBR-verdier beregnet for teleløsningsforhold etter dimensjoneringsreglene til AASHTO.

6. Vurderinger og konklusjoner

En skal i dette kapitlet forsøke å vurdere resultatene som er fremkommet og gi konklusjoner. I vurderingen av anbefalte verdier for CBR må en være klar over formålet med å relatere bæreevnegruppene til CBR-verdier. Det er å skape felles basis for dimensjoneringen etter dimensjoneringsnivå 1 og 2. En må videre være oppmerksom på følgene av å relatere en høyere eller lavere CBR-verdi til en bæreevneklasse. Dersom en tar utgangspunkt i f.eks. bæreevneklasse 6 og CBR-verdiene som er angitt i tabell 3 etter British Standard Soil Classification System, finner en verdier som varierer mellom 1 og 7. Vanligvis vil en tro at jo lavere en definerer CBR-verdien for klassen, jo større sikkerhet bygger en inn. Dette vil nok også normalt være tilfelle. I denne forbindelse er det derimot motsatt. Setter en f.eks. relasjonen mellom bæreevnegruppe 6 til en CBR-verdi på 1, vil en oppdage at en sjelden ved målinger i marken med DCP finner så lave verdier for materialer i bæreevnegruppe 6. Resultatet er at vegen blir dimensjonert etter en sterkere bæreevneklasse enn 6 og overbygningen blir tynnere. Jo høyere CBR-verdi en tilordner en bæreevneklasse, jo mer konservativt vil en følgelig dimensjonere. Dimensjonene for bæreevneklassene følger jo tykkelsene som angis etter dimensjoneringsnivå 1.

Utifra slike betraktninger kan det ikke være riktig å angi dimensjonerende CBR-verdi som den laveste CBR-verdien for gruppen. Dette innebærer at veger i denne bæreevnegruppen i regelen blir underdimensjonert. Det er bare når vi oppnår denne lave CBR-verdien ved målinger ute, at vi får overbygningstykkelser tilsvarende dimensjoneringsnivå 1 ellers blir tykkelsene mindre.
Videre må en være oppmerksom på at den kritiske bæreevnetilstanden bare opptrer i en forholdsvis kort periode. Det kan videre være store forskjeller langsetter en veg avhengig av de lokalklimatiske forholdene. Dermed er det trolig at en i mange tilfeller ikke vil finne den mest kritiske tilstanden. Dette bør kanskje influere på valg av nivå for tilordnet CBR-verdi.

På denne bakgrunn skal en kort angi CBR-verdier for materialene i teleløsningen.

Materialer i overbygningen

Anslått CBR-verdi om våren for grusmaterialer, T2, i bærelaget; 40. Tilsvarende verdi for T2 materialer i forsterkningslaget; 25. Verdiene for ikke telefarlige materialer settes til 80 og 40 respektivt for bærelag og forsterkningslag.

Materialer i grunnen

Bæreevnegruppe 1; Fjellskjæring, steinfylling, T1

AASHTO anslag kan antyde verdier mellom 40 og 80 eller høyere.

Bæreevnegruppe 2; Grus, sand, $C_u \geq 10$, T1

Denne gruppen er etter flere utenlandske klassifiseringssystem oppdelt i velgradert grus og sand. Anslag på grus fra amerikanske og engelske kilder varierer mellom 20-60 og 40-80+ +. Undersøkelser i Norge viser at disse materialene er svært avhengige av materialenes kompaktering. Ved lav kompaktering ,< 90 % Mod.Pr., kan CBR-verdien falle til under 10, mens den ved ved høy kompaktering, > 98 % Mod.Pr., kan ligge på f.eks. 80. Dette gjør det vanskelig med korrekte anslag på CBR-verdien.

Omregninger av svenske E-modul data antyder en CBR-verdi på 15 [6] som en relativt konstant verdi over året. CBR-verdi for bæreevnegruppen antas til 15.

Bæreevnegruppe 3; Grus, sand, $C_u < 10$, T1

Denne gruppen kan etter utenlandske klassifiseringssystem oppdeles i en rekke ulike materialtyper. Grus blir normalt vurdert til å ha de høyeste CBR-verdiene. Verdien kan ligge mellom 20 og 50, mens verdien for sand kan ligge mellom 10 og 30. Verdien vil også i dette tilfelle variere med kompakteringsgraden. Omregning av svenske E-modul målinger gir verdier mellom 5 og 10, mens omregnede DCP-verdier fra Sintefs undersøkelse ligger mellom 2.4 og 48. En CBR-undersøkelse av de samme sandmaterialene gir "soaked" verdier på 6.5 til 7.5 ved 90 % Mod.Pr.

En anslår etter dette grovt CBR-verdien til å være 9.

Bæreevnegruppe 4; Grus, sand, morene, T2

Denne bæreevnegruppen inneholder materialer som AASHTO vurderer til å ha CBR-verdier mellom 12 og 80 eller endog over 80. Svenske målinger av E-modul gir CBR-verdier tilsvarende 2.3 til 9.6 i teleløsningen. Omregninger av norske DCP-målinger gir CBR-verdier mellom 5.2 og 56, mens direkte laboratoriemålinger av CBR-verdier ga verdier på 8 - 11 ved 90 % Mod.Pr. og "soaked ".
Omregning av E-modul verdier benyttet ved dimensjonering etter AASHTO og BYA gir

verdier på 1.3 til 2.9.
Eldre norske anslag på CBR-verdi for denne bæreevneklassen er 3.

En anslår etter dette CBR-verdien til 6.

Bæreevnegruppe 5; Grus, sand, morene, T3

Gruppen vurderes å ha materialer som kan variere i CBR-verdi mellom 10 og 80 eller endog over 80.
Verdien for svenske morene-jordarter vurderes til å ligge mellom 2.9 og 5.1.
Omregning av verdier benyttet ved dimensjonering etter AASHTO og BYA gir verdier på 1.0 til 2.9.
Eldre norske anslag på CBR-verdi for denne bæreevneklassen er 2.

En anslår etter dette CBR-verdien til 4.

Bæreevnegruppe 6; Leire, silt, T4

Amerikanske kilder oppgir verdier fra mindre enn 2 til 25, mens engelske varierer mellom 1 og 7. Oppnådde resultater på 2 morene-silt materialer i laboratoriet har vært 5 og 9 ved 90 % Mod.Pr. og "soaked". Ved 85 % Mod. Pr. faller CBR-verdiene sterkt. De samme materialenes CBR-verdier omregnet fra de laveste registrerte DCP-målinger i felt (om våren) er 7.3 og 10.1. For 2 andre materialer, henholdsvis silt og leire har en oppnådd verdier på 1.2 og 2.9.
Bæreevnegruppe 6 er etter dimensjoneringstabellen i 018 inndelt i undergrupper etter den udrenerte skjærfastheten for leire. Disse verdien er omregnet til CBR-verdier etter likning {1}. Dette innebærer at en udrenert skjærfasthet på 50 kN/m^2 tilsvarer en CBR-verdi på 3.1, 37.5 kN/m^2 tilsvarer 2.6 og 25 kN/m^2 tilsvarer 2.0.

Etter anslår etter dette CBR-verdien til 2.

I denne gjennomgangen av forholdet mellom bæreevnegrupper og CBR-verdier kommer det klart frem at det er store forskjeller i antatt bæreevne innenfor de enkelte bæreeevnegrupper. Sannsynligvis er det også betydelig overlappinger mellom gruppene. Anslagene som foran er gjort, mellom bæreevnegrupper og CBR-verdier er derfor meget omtrentlige. Vurderingene trenger å suppleres med flere undersøkelser senere.

Konklusjonen fra arbeidet er vist i tabell 26.

Tabell 26. Anslag for CBR-verdier for velgraderte materialer i overbygningen og for ulike bæreevnegrupper i grunnen.

Material	CBR-verdier om våren
Overbygningen	
Vm i bærelag, T1	80
" " , T2	40
Grus i forsterkningslag, T1	40
" " , T2	25
Underbygning	
Bæreevnegruppe 1	15
" 2	15
" 3	9
" 4	6
" 5	4
" 6	2

Undersøkelsen avdekker at det er behov for en mer presis klarlegging av materialenes egenskaper før veger dimensjoneres. Dagens metode synes å være svært omtrentlig. Ved slik klarlegging bør materialenes elastiske og plastiske egenskaper bestemmes.

7. Litteratur

1. M. Carter og S.P. Bentley : Correlations of Soil Properties. Pentech Press Publishers, London, 1991.

2. - Pavement Design. A Guide to the Structural Design of Road Pavements, Austroads, Sydney 1992.

3. M. Livneh : Validation of Correlations Between a Number of Penetration Tests and In Situ California Bearing Ratio tests. Transportation Research Record, No. 1219.

4. O.M. Solheim og R. Skoglund : Skjærstyrke av vegbyggingsmaterialer målt med DCP (Dynamic Cone Penetrometer). Sintef Rapport A93021, Nov. 1993.

5. - AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1986

6. M. Arm : San Remo. Ny dimensionering av vägöverbyggnader i BYA på kort sikt. VTI notat V 187, 1992.

7. L. Djärf : Jordarters E-modul utvärderade ur nedsjunkningmätningar med fallviktsdeflektometer (FDW).

8. E. Hansen : Typiske CBR-verdier for norske bæreevnegrupper, 1994.

Vedlegg 1

Unified Soil Classification System, AASHTO og British Standard Soil Classification System

Tabell 1. Unified Soil Classification System [1].

Major divisions			*Typical names*	*Group symbols*
Coarse grained soils More than half of material is larger than 75μm sieve size	*Gravels More than half of coarse fraction is larger than No. 4 sieve size*	*Clean gravels (little or no fines)*	Well graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines	GW
			Poorly graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines	GP
		Gravels with fines (appreciable amount of fines)	Silty gravels, poorly graded gravel-sand-silt mixtures	GM
			Clayey gravels, poorly graded gravel-sand-clay mixtures	GC
	Sands More than half of coarse fraction is smaller than No. 4 sieve size	*Clean sands (little or no fines)*	Well graded sands, gravelly sands, little or no fines	SW
			Poorly graded sands, gravelly sands, little or no fines	SP
		Sands with fines (appreciable amount of fines)	Silty sands, poorly graded sand-silt mixtures	SM
			Clayey sands, poorly graded sand-clay mixtures	SC
Fine grained soils More than half of material is smaller than 75μm sieve size	*Silts and clays liquid limit less than 50*		Inorganic silts and very fine sands, rock flour, silty or clayey fine sands with slight plasticity	ML
			Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays	CL
			Organic silts and organic silt-clays of low plasticity	OL
	Silts and clays liquid limit greater than 50		Inorganic silts, micaceous or dictomaceous fine sandy or silty soils, elastic silts	MH
			Inorganic clays of high plasticity, fat clays	CH
			Organic clays of medium to high plasticity	OH
Highly organic soils			Peat and other highly organic soils	Pt

Tabell 2. AASHTO Classification System [1].

Classification of materials in the various groups applies only to the fraction passing the 75mm sieve. The proportions of boulder and cobble-sized particles should be recorded separately and any specification regarding the use of A-1, A-2 or A-3 materials in construction should state whether boulders are permitted.

Granular materials	*Silty clay materials*
Group A-1. Typically a well graded mixture of stone fragments or gravel, coarse to fine sand and a nonplastic or feebly plastic soil binder. However, this group also includes stone fragments, gravel, coarse sand, volcanic cinders, etc. without soil binder. Subgroup A-1-a is predominantly stone fragments or gravel, with or without binder. Subgroup A-1-b is predominantly coarse sand with or without binder.	Group A-4. Typically a nonplastic or moderately plastic silty soil usually with a high percentage passing the 0.075mm sieve. The group also includes mixtures of silty fine sands and silty gravelly sands.
Group A-3. Typically fine beach sand or desert sand without silty or clayey fines or with a very small proportion of nonplastic silt. The group also includes stream-deposited mixtures of poorly graded fine sand with limited amounts of coarse sand and gravel.	Group A-5. Similar to material described under group A-4 except that it is usually diatomaceous or micaceous and may be elastic as indicated by the high liquid limit.
Group A-2. Includes a wide variety of 'granular' materials which are borderline between the granular A-1 and A-3 groups and the silty-clay materials of groups A-4 to A-7. It includes all materials with not more than 35% fines which are too plastic or have too many fines to be classified as A-1 or A-3. Subgroups A-2-4 and A-2-5 include various granular materials whose finer particles (0.425mm down) have the characteristics of the A-4 and A-5 groups, respectively. Subgroups A-2-6 and A-2-7 are similar to those described above but whose finer particles have the characteristics of A-6 and A-7 groups, respectively.	Group A-6. Typically a plastic clay soil having a high percentage passing the 0.075mm sieve. Also mixtures of clayey soil with sand and fine gravel. Materials in this group have a high volume change between wet and dry states. Group A-7. Similar to material described under group A-6 except that it has the high liquid limit characteristic of group A-5 and may be elastic as well as subject to high volume change. Subgroup A-7-5 materials have moderate plasticity indices in relation to the liquid limits and may be highly elastic as well as subject to volume change. Subgroup A-7-6 materials have high plasticity indices in relation to the liquid limits and are subject to extremely high volume change.
	Group A-8. Includes highly organic materials. Classification of these materials is based on visual inspection and is not related to grading or plasticity.

Tabell 3. British Standard Soil Classification System

Soil groups				*Sub-groups*		*Subdivisions*		*Liquid limit (%)*	*Fines (%) <0.06mm*
Coarse soils (<35% fines)	Gravels (>50% of coarse material is of gravel size – >2mm)	Slightly silty or clayey gravel	G	Well graded gravel	GW	—	—		0–5
				Poorly graded gravel	GP	Uniformly graded	GPu		
						Gap graded	GPg		
		Silty or clayey gravel	G-F	Silty gravel	G-M	Well graded	GWM		5–15
						Poorly graded	GPM		
				Clayey gravel	G-C	Well graded	GWC		
						Poorly graded	CPC		
		Very silty or clayey gravel	GF	Very silty gravel	GM	As for GC	GML etc As GC		15–35
				Very clayey gravel	GC	Low plasticity clay	GCL	<35	
						Intermediate plasticity clay	GCI	35–50	
						High plasticity clay	GCH	50–70	
						Very high plasticity clay	GCV	70–90	
						Extremely high plasticity clay	GCE	>90	
	Sands (>50% of coarse material is of sand size – <2mm)	Slightly silty or clayey sand	S	Well graded sand	SW	—	—		0–5
				Poorly graded sand	SP	Uniformly graded	SPu		
						Gap graded	SPg		
		Silty or clayey sand	S-F	Silty sand	S-M	Well graded	SWM		5–15
						Poorly graded	SPM		
				Clayey sand	S-C	Well graded	SWC		
						Poorly graded	SPC		
		Very silty or clayey sand	SF	Very silty sand	SM	As for SC	SML etc As SC		15–35
				Very clayey sand	SC	Low plasticity clay	SCL	<35	
						Intermediate plasticity clay	SCI	35–50	
						High plasticity clay	SCH	50–70	
						Very high plasticity clay	SCV	70–90	
						Extremely high plasticity clay	SCE	>90	
Fine soils (>35% fines)	Gravelly or sandy silts and clays (35–65% fines)	Gravelly silt or gravelly clay*	FG	Gravelly silt	MG	As for CG	MLG etc As CG		
				Gravelly clay	CG	Low plasticity	CLG	<35	
						Intermediate plasticity	CIG	35–50	
						High plasticity	CHG	50–70	
						Very high plasticity	CVG	70–90	
						Extremely high plasticity	CEG	>90	
	Silts and Clays (65% fines)	Sandy silt or sandy clay*	FS	Sandy silt	MS	As for CG	MLS etc As CG		
				Sandy clay	CS	As for CG	CLS etc As CG		
		Silt or clay	F	Silt	M	As for C	ML etc As C		
				Clay	C	Low plasticity	CL	<35	
						Intermediate plasticity	CI	35–50	
						High plasticity	CH	50–70	
						Very high plasticity	CV	70–90	
						Extremely high plasticity	CE	>90	
Organic soils	Letter 'O' suffixed to any group or subgroup symbol, e.g. MHO – organic silt of high plasticity.								
Peat	Pt Peat soils consist predominantly of plant remains (fibrous or amorphous).								

*Gravelly if >50% coarse material is gravel sized; sandy if >50% is sand sized.

Notes:

(1) The name of the soil group should always be given when describing soils, supplemented, if required, by the group symbol, although for some additional applications (e.g. longitudinal sections) it may be convenient to use the group symbol alone.

(2) The group symbol or sub-group symbol should be placed in brackets if laboratory methods have not been used for identification, e.g. (GC).

(3) The designation FINE SOIL or FINES, F, may be used in place of SILT, M, or CLAY, C, when it is not possible or not required to distinguish between them.

(4) GRAVELLY if more than 50% of coarse material is of gravel size. SANDY if more than 50% of coarse material is of sand size.

(5) SILT (M-SOIL), M, is material plotting below the A-line, and has a restricted plastic range in relation to its liquid limit, and relatively low cohesion. Fine soils of this type include clean silt-sized materials and rock flour, micaceous and diatomaceous soils, pumice, and volcanic soils, and soils containing halloysite. The alternative term 'M-soil' avoids confusion with materials of predominantly silt size, which form only a part of the group.
Organic soils also usually plot below the A-line on the plasticity chart, when they are designated ORGANIC SILT, MO.

(6) CLAY, C, is material plotting above the A-line, and is fully plastic in relation to its liquid limit.