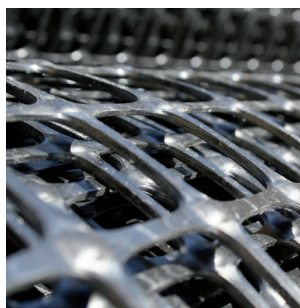


Designmanual

GS GRID - geonet Vej- og pladsstabilisering





I dag er det naturligt at anvende geonet i forbindelse med etablering af veje og pladser på problematisk underbund. Formålet er at stabilisere og opnå en bæreevneforøgelse i forhold til den uarmerede situation. Herved kan der opnås en væsentlig reduktion i grusbærelaget.

Der er udviklet en del internationale beregnings-metoder, som typisk er baseret på fuldskala forsøg omsat til empiriske formler og kurver.

I takt med den stigende anvendelse af geoarmering i danske anlægsprojekter, har Byggros deltaget aktivt i processen med at verificere effekten af de enkelte armeringstyper, når de indbygges under de forhold, vi normalt ser i Danmark.

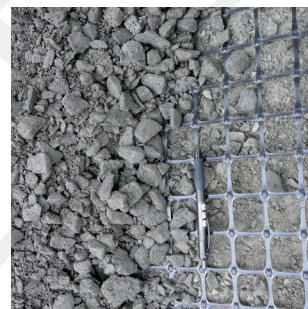
I den forbindelse har vi indhentet dokumenterede data fra en lang række projekter.

Denne designmanual er udarbejdet på basis af vores resultater og kan anvendes i forbindelse med indbygning af GS-GRID. Ved anvendelse af andre produkter bør resultaterne verificeres særskilt, idet der kan forekomme store variationer i de registrerede bæreevner.

Materialet er udarbejdet som en vederlagsfri service og er baseret på vores nuværende viden. Der tages forbehold for ændringer. Indholdet er omfattet af Byggros' gældende salgs- og leveringsbetingelser, hvortil der henvises.

Indhold

Anvendelsesområder	3
Grundbegreber	3
- Geonet eller geotekstil	
- Kraftoverførsel	
Underbundens styrke	
- vingeforsøg kontra pladebelastning	4
Kontrol af bæreevne før og efter indbygning	5
Belastningsklasser	5
Valg af geonet i forhold til belastning og underbundens styrke	6
- Valg af geonet i forhold til underbundensstyrke	6
- Valg af geonet i forhold til belastning	7
- Valg af geonet i forhold til maskestørrelse	7
- Flere lag geonet i samme opbygning	8
Krav til materialer der anvendes som ubundne bærelag	9
Indbygning af GS-GRID geonet	9
Designdiagrammer for GS-GRID	10
Eksempel 1 - Byggeveje	11
Eksempel 2 - Lagergulve	11
Eksempel 3 - Tungt trafikerede veje	12
Referencer	12



Anvendelsesområder

Anvendelsen af geonet i danske vejbygningsopgaver har på forholdsvis få år udviklet sig til at indgå som en naturlig del af blødbundsopgaver.

De væsentligste årsager hertil er typisk de store miljømæssige omkostninger, som er forbundet med blødbundsudskiftning, samt de økonomiske fordele som metoden tilbyder. Der findes i dag mange referenceprojekter over hele landet, hvor der på bedste vis er blevet løst komplicerede problemstillinger på en for alle parter tilfredsstillende måde.

Det største diskussionsemne er stadig, hvordan geonet/ geotekstilet dimensioneres i praksis. En række forsøg, som Byggros har været part i, har belyst dette emne og stiller spørgsmålstejn ved tidligere tiders formodninger. Sidst men ikke mindst har forsøgene givet anledning til en klar anbefaling vedrørende kontrol af den aktuelle bæreevne i en given situation.

Inden for følgende områder er der med fordel anvendt geonet eller armerende geotekstiler:

- Vej- og pladsstabilisering
- Modvirkning af differenssætninger
- Kompensationsopbygninger
- Forbelastede vejdæmningslag
- Pæledæmningslag

Denne vejledning forudsætter udelukkende anvendelse i forbindelse med vej- og pladsstabilisering herunder modvirkning af differenssætninger samt kompensationsopbygninger. I det følgende er det hensigten, at belyse de problemstillinger og overvejelser som generelt er forbundet med stabilisering af ubundne bærelag.

Vejledningen kan og må ikke benyttes til statisk belastede konstruktioner som f.eks. forbelastede vejdæmningslag og pæledæmningslag. Kontakt Byggros for udarbejdelse af særskilt design.

Grundbegreber

Geonet eller geotekstil?

Man skelner mellem vævede eller ekstruderede/stansede geonet, og vævede eller ikke vævede geotekstiler samt kombinationer heraf.

- Ekstruderede/stansede geonet er defineret som åbenmaskede net med en defineret styrke/deformation og kendetegnes ved at være stive i form og udseende og have faste knudepunkter.
- Vævede geonet er defineret som åbenmaskede net med en defineret styrke/deformation. De kendetegnes ved at være fleksible i form og udseende.
- Vævede geotekstiler defineres som tæt vævede eller fintmaskede net med en defineret styrke/deformation og definerede filteregenskaber.
- Ikke vævede geotekstiler (non wovens) defineres som enten termisk bundne eller nålede geotekstiler. De er primært fremstillet med henblik på separation, beskyttelse og filtrering. Ikke vævede geotekstiler kendetegnes endvidere ved at have relativt store bruddeformationer, typisk > 35% og fungerer som separationsdug i vejkassen.

Kraftoverførsel

Der skelnes mellem to kraftoverførselsprincipper:

- Friktion
- Forkiling

Alle typer armering overfører i en eller anden grad kræfterne ved friktion, mens forkiling udelukkende er i forbindelse med de åbne geonet. Kraftoverførsel ved friktion hører typisk til de vævede

geonet og geotekstiler, mens forkiling primært hører til de stive geonet med faste knudepunkter.

Forsøg viser, at kraftoverførslen ved udtrækningsforsøg stort set er identisk for geonet, uanset om der er tale om vævede eller ekstruderede/stansede geonet. Interaktionskoefficienten, dvs. geonettets

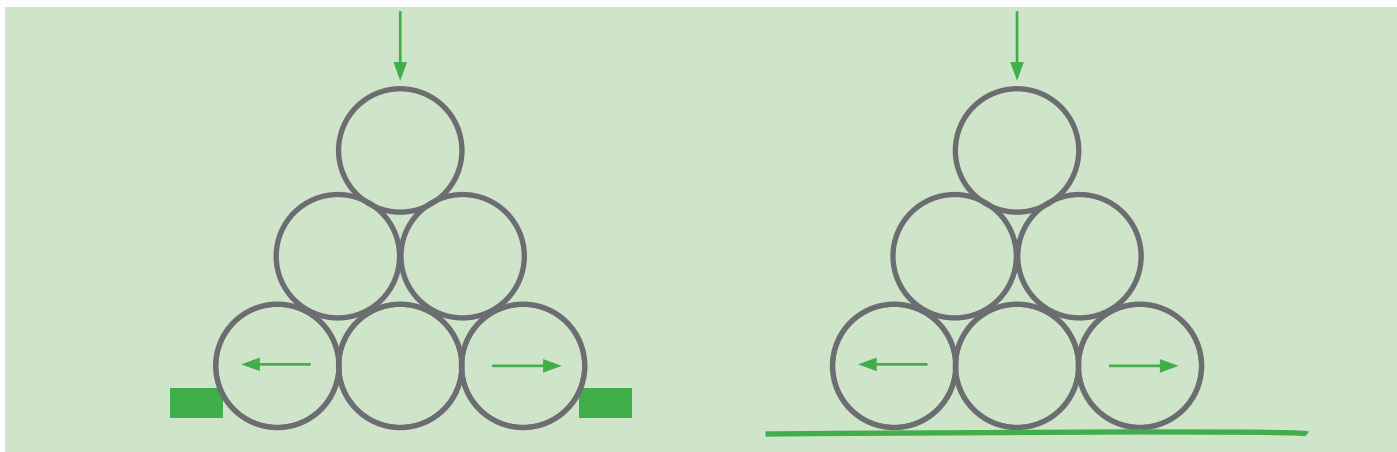
Kraftoverførselskoefficient, ligger typisk i området 0,8 - 1,0.

For vævede geotekstiler og kombinationsdug ligger interaktionskoefficienten typisk i området 0,6 - 0,8.

Kraftoverførsel ved friktion kan især udnyttes i forbindelse med vejdæmningslag, pæledæmningslag, støttemure og lignende, hvor påvirkningen er 2-dimensional og typisk kun sker i én retning. For vej- og pladsstabiliseringsopgaver forholder det sig anderledes - her er der tale om en 3-dimensional påvirkning.

I forbindelse med traditionelle vej- og pladsstabiliseringsopgaver er det afgørende for geonettets effekt, at grusmaterialerne fastholdes i netmaskerne. Forsøg viser, at geonettets fysiske stivhed og evne til at fastlåse grusmaterialerne har stor betydning for effekten.

Kraftoverførslen ved forkiling sammenlignet med friktion kan skildres ved, at man placerer runde emner i en pyramideform, som vist på figur 1 og 2. Geonettets tværribber er, modsat geotekstilet, i stand til at fastholde grusmaterialerne i samme position. Belastningen kan derved overføres til geonet, hvorved stabiliseringseffekten øges.



Figur 1 Fastlåsning via forkiling i geonettets tværribber.

Figur 2 Fastholdelse via friktion.

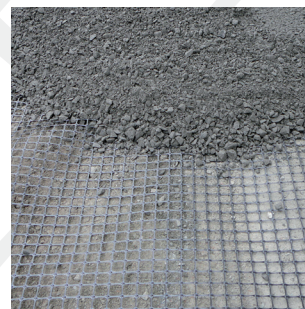
Underbundens styrke - vingeforsøg kontra pladebelastning

Oftest er der i den geotekniske rapport angivet vingestyrker til beskrivelse af underbundens styrke. Kun sjældent er der udført pladebelastningsforsøg til bestemmelse af underbundens aktuelle bæreevne. Mest pålidelig synes pladebelastningen, idet man herved, uafhængig af dybden, er i stand til at få et billede af den aktuelle bæreevne. Der kan kun i nogen grad drages paralleller mellem de to forsøg, idet vandindholdet spiller en stor rolle.

Følgende relationer ses i typisk forekommende dansk moræner, gytje eller lignende med højt vandindhold. Der tages forbehold for afvigelser.

E-modul på planum E_u	Tilhørende vingestyrke C_v
5 MN/m ²	0 - 30 kN/m ²
10 MN/m ²	30 - 60 kN/m ²
15 MN/m ²	60 - 90 kN/m ²
20 MN/m ²	90 - 120 kN/m ²
25 MN/m ²	120 - 150 kN/m ²
30 MN/m ²	150 - 180 kN/m ²

Figur 3 Relationen mellem E-modul og vingestyrke som typisk findes for moræner, gytje og lignende.



Kontrol af bæreevne før og efter indbygning

Ved dimensionering af en vejopbygning er det vores erfaring, at pladebelastningen er et godt redskab til verificering af underbundens bæreevne. Herved fås et godt billede af underbundens aktuelle E-modul, og samtidig vil man være i stand til, med endnu et forsøg på den færdige opbygning, at kontrollere den

aktuelle bæreevne i den færdige opbygning. Forsøget er relativt billigt at udføre, og man kan på et tidligt tidspunkt verificere en opbygning og eventuelt korrigere i opbygningen.



Figur 4 Pladebelastning på henholdsvis overside bærelag og overside planum.

Ved pladebelastning i Danmark anvendes oftest enten "Det danske forsøg" eller "Det tyske forsøg" i henhold til DIN 18 134. Der er god overensstemmelse mellem de to forsøg. Dog er "Det tyske forsøg" samtidig glimrende til verifikation af den aktuelle komprimering, idet der reelt er tale om to uafhængige belastningskurver, hvor forholdet mellem de to E-moduler er et udtryk for komprimeringsgraden.

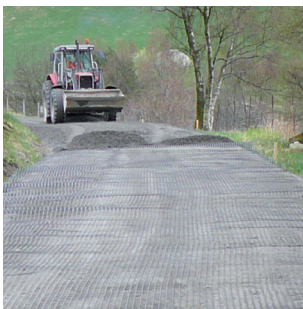
Belastningsklasser

Designdiagrammerne er bygget op med udgangspunkt i det afsluttende E-modul målt på oversiden af det ubundne bærelag. Designdiagrammerne er inddelt i følgende belastningsklasser:

Afsluttende E-modul E_o

Overside ubundne bærelag	Anvendelsesområde	Belastningsklasse
$E_o = 30 \text{ MN/m}^2$	Begrænset belastning - Cykelstier og midlertidige byggeveje	1
$E_o = 45 \text{ MN/m}^2$	Større belastning - Markveje og midlertidige byggeveje	2
$E_o = 60 \text{ MN/m}^2$	Let trafik - maksimalt akseltryk 6 t Villaveje og lignende, parkeringsarealer for personbiler	3
$E_o = 80 \text{ MN/m}^2$	Middel trafik - maksimalt akseltryk 8 t Middel trafikerede veje, parkeringsarealer, flydende gulve i lagerhaller	4
$E_o = 120 \text{ MN/m}^2$	Tung trafik - maksimalt akseltryk 12 t Tungt trafikerede veje, hovedveje og motortrafikveje, parkeringsarealer, containerpladser	5
$E_o = 150 \text{ MN/m}^2$	Svær tung trafik - maksimalt akseltryk 15 t Parkeringsarealer for meget tunge køretøjer, containerpladser, landingsbaner og lign.	6

Figur 5 Inddeling i belastningsklasser.



Diagrammerne kan desuden anvendes i forbindelse med brug af Vejdirektoratets vejregler. I givet fald foretages dimensioneringen ved først at anvende designdiagrammerne for opnåelse af et bæredygtigt planum.

Med det opnåede E-modul, f.eks. $E_o = 30 \text{ MN/m}^2$ i det modificerede planum, fortsættes dimensionering med $E_u = 30 \text{ MN/m}^2$ som indgangsværdi på normal vis, jf. Vejdirektoratets vejregler

Valg af geonet i forhold til belastning og underbundens styrke

Vores forsøg har vist, at forskellen mellem de forskellige geonet primært viser sig i sporkøring. Uanset belastning vil overflademodulet kunne relateres til nettypen - f.eks. har GS-GRID B30/30 større effekt end f.eks. GS-GRID B20/20. Reduktionen i bærelaget er derfor afhængig af nettypen.

Forskellen mellem armerede og uarmerede opbygninger under samme forudsætninger kan relateres til nettype, styrke og udformning. For opbygninger placeret på samme underbund, med samme bærelag, henholdsvis uarmeret/armeret vil antallet af passager øges eksponentielt. Samtidig reduceres deformationerne på råjordsplanum.

Valg af geonet i forhold til underbundens styrke – effektindeks

Indvirkningen på E-modulet målt på oversiden af de ubundne bærelag E_o kan som nævnt relateres til typen af geonet. For bundmoduler i området $E_u \approx 2-60 \text{ MN/m}^2$ målt på råjordsplanum, er der ved indbygning af 40-50 cm stabilgrus henholdsvis armeret og uarmeret fundet følgende sammenhænge:

Opbygning	Effektindeks $E_u \approx 2 \text{ MN/m}^2$	Effektindeks $E_u \approx 5 \text{ MN/m}^2$	Effektindeks $E_u \approx 10 \text{ MN/m}^2$	Effektindeks* $E_u \approx 60 \text{ MN/m}^2$
Uarmeret	25	40	60	80
GS-GRID B20/20 20 kN/m	70	80	90	-
GS-GRID B20/20L 20 kN/m	70	80	90	-
GS-GRID B30/30 30 kN/m	100	100	100	100
GS-GRID B30/30L 30 kN/m	100	100	100	100
GS-GRID B30/30XL 30 kN/m	100	100	100	100
GS-GRID B40/40 40 kN/m	130	120	110	-
GS-GRID B40/40L 40 kN/m	130	120	110	-

Figur 6 Som reference (indeks 100) anvendes GS-GRID B30/30

*Effektindeks fundet ved forsøg på 35 cm stabilgrus.

Bemærk: GS-GRID "L" produkter bør anvendes, når den maksimale kornstørrelse er større end 64 mm - dvs. ved brug af 0-80 mm osv.

For GS-GRID typerne anvendes effektindekset i praksis som følger

Geonet type	Indvirkning på opbygning jf. designdiagrammerne
GS-GRID B20/20 og B20/20L	Aflæst bærelagstykkelse øges med 10 %
GS-GRID B30/30 og B30/30L – reference	Aflæst bærelagstykkelse anvendes direkte
GS-GRID B40/40 og B40/40L	Aflæst bærelagstykkelse reduceres med 10%

Figur 7 Effektindeks for GS-GRID serien.

For ekstremt lave E-moduler i planum er effekten af geonettet meget tydelige.

For stigende E-moduler i planum er effekten af geonettets tilstedeværelse aftagende. Ikke desto mindre vil der kunne registreres en bæreevne-tilvækst på ca. 25% ved indbygning af geonet på et råjordsplanum med en E-værdi $E_u \approx 50 - 60 \text{ MN/m}^2$.



Valg af geonet i forhold til belastning

Under hensyn til belastningsklasserne (figur 5.), bør valg af geonet ske efter følgende retningslinjer:

Belastningsklasse (se figur 5)					
1	2	3	4	5	6
GS-GRID B20/20 og B20/20L					
		GS-GRID B30/30, B30/30L og B30/30XL			
			GS-GRID B30/30XL, B40/40 og B40/40L		

Figur 8 Valg af geonet relateret til belastning.

Valg af geonet i forhold til maskestørrelse

Med hensyn til den maksimale korndiameter, bør valget af geonet ske efter følgende retningslinjer:

Den maksimale kornfraktion som udlægges på et geonet, bør være maks. 2 x maskestørrelsen.

Den minimale dæklagstykkelse udlagt på geonet bør være min. 3 x største korndiameter. Dog anbefaler vi altid en lagtykkelse på min. 20 cm for at opnå en optimal stabiliserende effekt.

Type	Dimension	Rudeåbning	Anbefalet tilslagsdiameter	Min. dæklag
B20/20	3,95 x 50 m	37 x 37 mm	0 - 80 mm	20 cm
B20/20	5,95 x 50 m	37 x 37 mm	0 - 80 mm	20 cm
B30/30	3,95 x 50 m	35 x 35 mm	0 - 80 mm	20 cm
B30/30	5,95 x 50 m	35 x 35 mm	0 - 80 mm	20 cm
B40/40	3,95 x 50 m	35 x 35 mm	0 - 80 mm	20 cm
B30/30L	3,95 x 50 m	65 x 65 mm	0 - 150 mm	40 cm
B30/30L	5,95 x 50 m	65 x 65 mm	0 - 150 mm	40 cm
B40/40L	3,95 x 50 m	60 x 60 mm	0 - 150 mm	40 cm
B30/30XL	3,95 x 50 m	100 x 100 mm	0 - 200 mm	60 cm

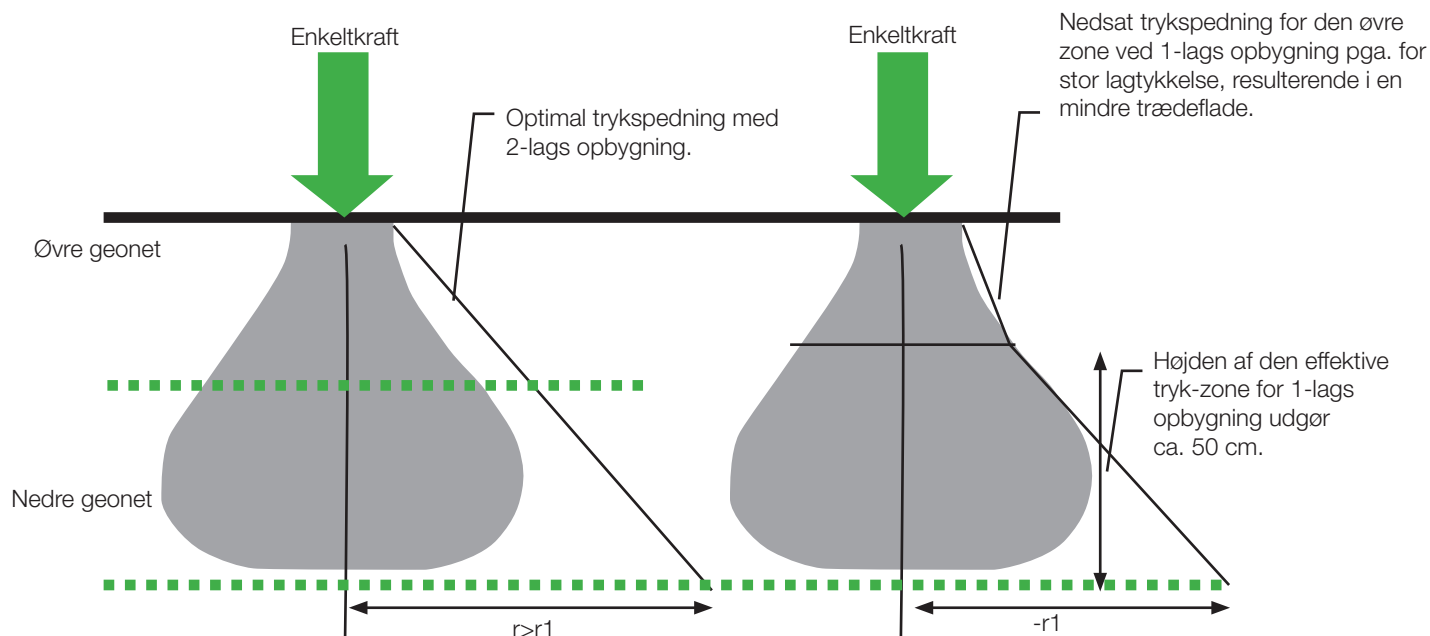
Figur 9 Valg af geonet relateret til maksimal korndiameter.



Flere lag geonet i samme opbygning

Når den totale bærelagstykkelse overstiger ca. 50 cm, kan man med fordel indbygge 2 eller flere lag geonet for at opnå maksimal trykspredning op gennem bærelagene. Dette skyldes samme mekanisme som ses i forbindelse med komprimering. Det vil sige at en påvirkning på oversiden af bærelaget spredes

i en pære- eller kugleform under enkeltkraften. Påvirkningen fra en enkeltkraft aftager med dybden. Når påvirkningen bliver tilstrækkelig lille, kan der opnås en yderligere trykspredningseffekt ved indbygning af endnu et lag geonet placeret højere oppe i opbygningen. Se figur 10.



Figur 10 Belastningen fra enkeltkraften får ved store bærelagstykkelser mindre indvirkning på det nederste geonetlag - det kan opnås en yderligere trykspredningseffekt ved brug af flere lag geonet.

Ved forsøg har man fundet, at afstanden mellem de enkelt lag geonet bør udgøre min. 20 cm og maks. 50 cm. Det øverste lag geonet bør som minimum placeres 20 cm under oversiden af det ubundne bærelag.

Ved indbygning af flere lag GS-GRID geonet vil den totale tykkelse af de ubundne bærelag, jf. designdiagrammerne, kunne reduceres yderligere med ca. 10%.



Krav til materialer der anvendes som ubundne bærelag

Designdiagrammerne er udarbejdet under forudsætning af, at der anvendes velgraderede friktionsmaterialer som bærelag, med en karakteristisk friktionsvinkel $> 35^\circ$. På basis af dette vurderes det, at stabilgrus 0-32 mm, velgraderet bundsik-

ring 0-90 mm, sprængsten, knust beton eller lign. direkte vil kunne anvendes i ubundne bærelag i forbindelse med brug af diagrammerne.

Indbygning af GS-GRID geonet

Vandholdig blød underbund er særlig følsom under indbygningen af grusbærelag, idet kraftig komprimering eller stor trafikbelastning på tynde grusbærelag kan forårsage ganske store forøgelse i porevandtrykket. Dette resulterer typisk i en opblødning og dermed betydelige forringelser af den aktuelle

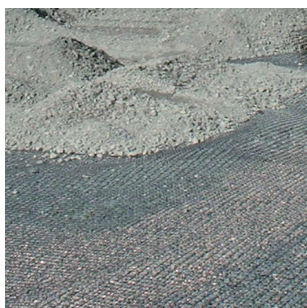
bæreevne. Da stort set alle blødbundsforekomster er forbundet med et meget højt vandindhold i underbunden, bør man, hvis det er muligt, tage følgende forholdsregler ved indbygningen af geonet som forstærkning.

Erfaringerne viser

- At komprimering af bærelag på vandholdig underbund med vibration ofte er til ugunst for konstruktionen, idet påvirkningen forøger porevandtrykket og dermed midlertidigt nedsætter bæreevnen.
- At stor trafikbelastning på for tynde grusbærelag kan være medvirkende til en forøgelse af porevandtrykket og dermed nedsætte bæreevnen.
- At der ved komprimering uden vibration opnås komprimeringsgrader $> 95\%$ standard proctor på selv ekstremt bløde aflejringer ved indbygning af min. 50 cm bundsikring eller stabilgrus. Denne komprimeringsgrad synes umiddelbart tilfredsstillende for den nederste del af bærelaget.

Overlæg i samlinger

Overlæg for GS-GRID-serien bør udgøre minimum 30 cm for $E_u > 5 \text{ MN/m}^2$. For $E_u < 5 \text{ MN/m}^2$ bør overlægget udgøre min. 40 cm.



Designdiagrammer for GS-GRID geonet

Diagram 1

Baseret på anvendelse af GS-GRID B30/30

Designdiagram $E_o = 30 \text{ MN/m}$
 Belastningsklasse 1

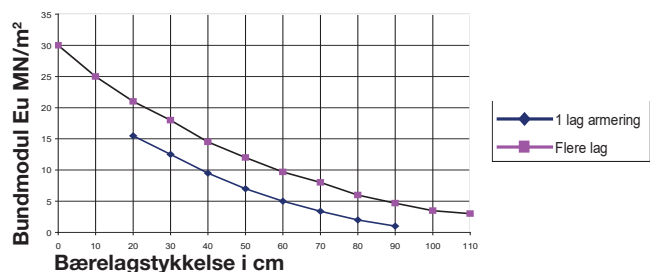


Diagram 2

Baseret på anvendelse af GS-GRID B30/30

Designdiagram $E_o = 45 \text{ MN/m}$
 Belastningsklasse 2

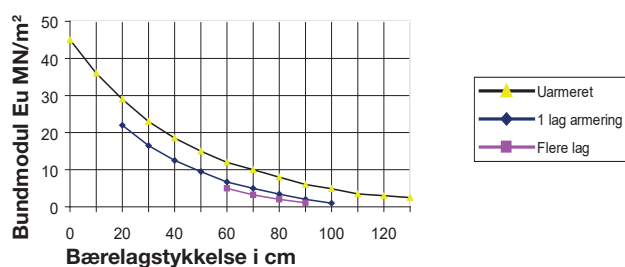


Diagram 3

Baseret på anvendelse af GS-GRID B30/30

Designdiagram $E_o = 60 \text{ MN/m}^2$
 Belastningsklasse 3

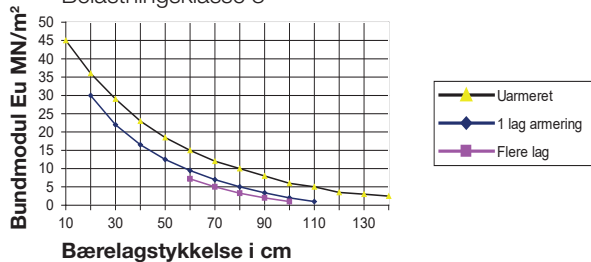


Diagram 4

Baseret på anvendelse af GS-GRID B30/30

Designdiagram $E_o = 80 \text{ MN/m}^2$
 Belastningsklasse 4

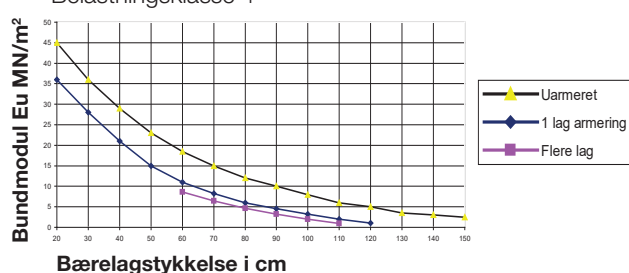


Diagram 5

Baseret på anvendelse af GS-GRID B30/30

Designdiagram $E_o = 120 \text{ MN/m}^2$
 Belastningsklasse 5

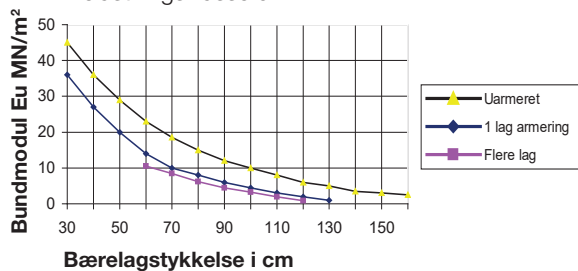
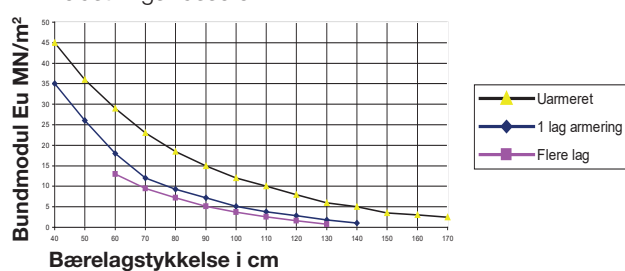


Diagram 6

Baseret på anvendelse af GS-GRID B40/40

Designdiagram $E_o = 150 \text{ MN/m}^2$
 Belastningsklasse 6





Eksempel 1

Byggeveje

Forudsætninger

Anlæg af midlertidig byggevej på relativt slap moræneler. Vingestykken er 40-50 kN/m². Vejen skal fungere i en kortvarig periode for trafik i forbindelse med tilkørsel af materialer. Det vurderes, at der er behov for et overflademodul svarende til ca. 30 MN/m². Der accepteres løbende opretning af vejen, såfremt belastningen måtte forårsage uacceptabel sporskoring. Som bærelag anvendes 0-90 mm velgraderet bundsikring.

Diagram og indgangsværdi

Der anvendes designdiagram 1 - gældende for $E_o = 30 \text{ MN/m}^2$ - belastningsklasse 1, jf. figur 5. Vingestykken i området er målt til 40-50 kN/m² - svarer til $E_u = 10 \text{ MN/m}^2$, jf. figur 3.

Aflæst opbygning, jf. designdiagram 1



NB! Ved ændring fra GS-Grid B30/30 til GS-Grid B20/20 øges bærelaget med ca. 10%, jf. figur 7.

Eksempel 2

Lagergulve

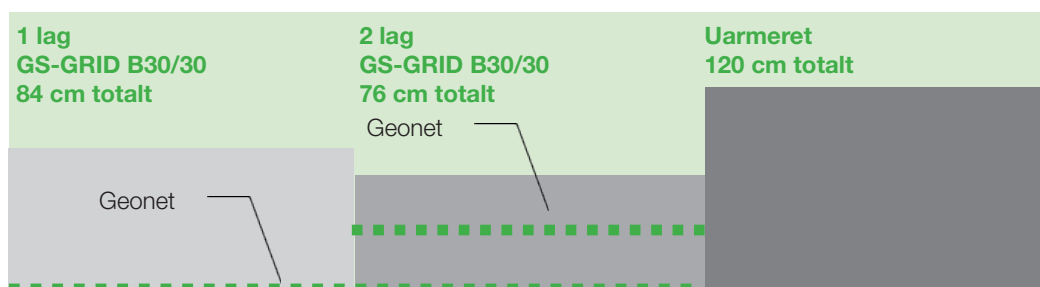
Forudsætninger

Etablering af lagerhal med flydende gulve på følsom moræneler. Ved pladebelastning er målt E-moduler i råjordsplanum på ca. 5 MN/m². Der kræves et E-modul på 80 MN/m², målt på oversiden af det ubundne bærelag. Som bærelag anvendes 0-90 mm velgraderet bundsikring samt 0-32 mm stabilgrus fordelt med 2/3 bundsikring og 1/3 stabilgrus.

Diagram og indgangsværdi

Der anvendes designdiagram 4 - gældende for $E_o = 80 \text{ MN/m}^2$ - belastningsklasse 4, jf. figur 5. $E_u = 5 \text{ MN/m}^2$

Aflæst opbygning, jf. designdiagram 4





Eksempel 3

Tungt trafikerede veje

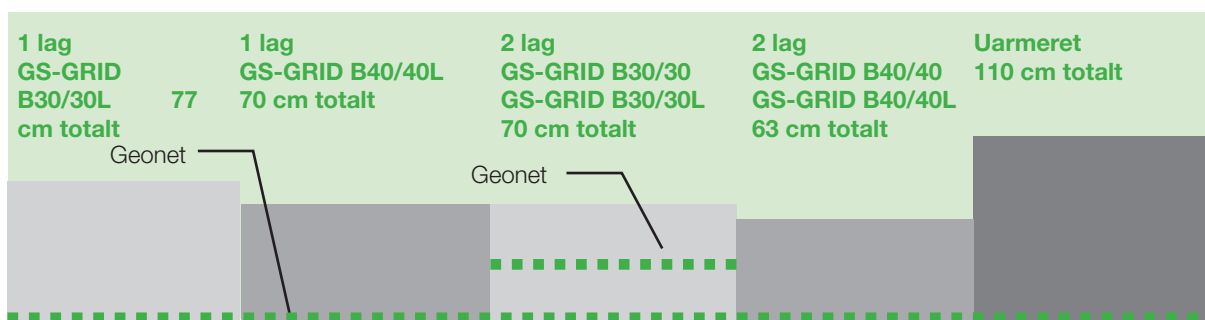
Forudsætninger

Etablering af tungt trafikeret vej - svarende til belastningsklasse 6. Ved pladebelastning er målt E-moduler i råjordsplanum på ca. 10 MN/m². Som bærelag anvendes 0-90 mm velgraderet bundsikring samt 0-32 mm stabilgrus fordelt med 2/3 bundsikring og 1/3 stabilgrus.

Diagram og indgangsværdi

Der anvendes designdiagram 5 - gældende for $E_0 = 120 \text{ MN/m}^2$ - belastningsklasse 5, jf. figur 5.
 $E_u = 10 \text{ MN/m}^2$

Aflæst opbygning jf. designdiagram 6



Ved ændring fra GS-GRID B30/30 til GS-GRID B40/40 reduceres bærelaget med ca. 10%, jf. figur 7.

Referencer

- Prof. Voss Tyskland (1961)**
Beziehung zwischen E_v -werten des Planums under Oberkante einer unterschiedlich dicken Frostschtzschicht aus Kiessand.
- J. P. Giroud, L. Noiray (1981)**
Geotextile-Reinforced Unpaved Road Design.
- Dr. F. P. Jaecklin, Prof. R. Floss, Technische Universität München, (1988)**
"Methode zur Bemessung von Geotextilien im Strassenbau auf besonders weichem Undergrund".
- Guy T. Houlsby & Richard A. Jewell (1990)**
Design of reinforced unpaved roads for small rut depths.
- Van Zanten, R. Veldhuijzen (1986)**
"Geotextiles and geomembranes in civil engineering".
- Voskamp, Vim (1993)**
"Geogrids in road design - towards generic specifications".
- A. Watn, H. Søgner, E. Emdal (1996)**
Improvement of bearing capacity for traffic areas on soft subsoil - Large scale laboratory testing.
- Prof. Andrea Cancelli, Ing. Filippo Montanelli (1997)**
Full scale laboratory testing on geosynthetics reinforced paved roads.
- Morten Vanggaard, Franck Geoteknik AS**
Pladebelastningsforsøg udført i perioden august 1997 til juli 1999.
- Prof. Andrea Cancelli, Ing. Filippo Montanelli (1998)**
In-Ground Test for Geosynthetic Reinforced Flexible Paved Road.