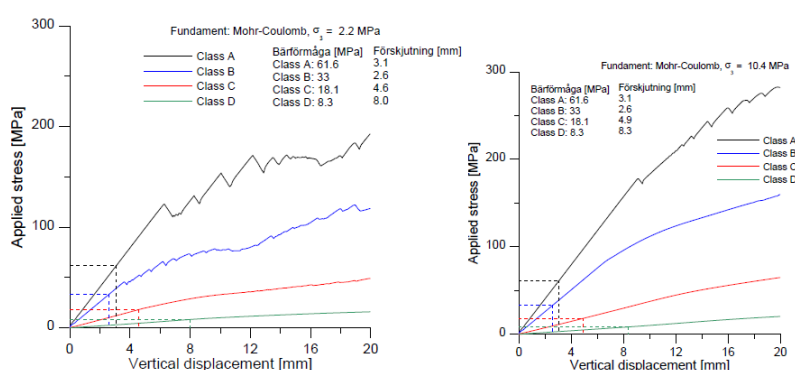


ÖKAT TILLÅTET GRUND- LÄGGNINGSTRYCK PÅ BERG

Sammanfattning



Figur I Pålastning av fundament som funktion av vertikal förskjutning under fundament.

Lars-Olof Dahlström, Luleå Tekniska Universitet, Golder Associates AB Erim Guclu,
Luleå Tekniska Universitet Erling Nordlund, Luleå Tekniska Universitet

2021-08-18

Bedömning av karaktäristisk bärförmåga vid grundläggning på berg

**Estimating characteristic bearing capacity for
foundations on rock.**

Lars-Olof Dahlström, Luleå Tekniska Universitet, Golder
Associates AB

Erim Guclu, Luleå Tekniska Universitet

Erling Nordlund, Luleå Tekniska Universitet

BeFo Rapport 224
Stockholm 2021
ISSN 1104-1773
ISRN BEFO-R-224-SE

FÖRORD

Gällande tekniska krav för att bestämma tillåtet grundläggningstryck på berg ges av Trafikverkets tekniska krav för geokonstruktioner TK Geo 13. Det tillåtna trycket bestäms utifrån tre givna bergtyper och mer eller mindre omfattande bedömning av sakkunnig för att verifiera ett tillåtet grundtryck 0,5, 1 eller 3 MPa vid enkel undersökning och 2, 4 och 10 MPa vid mer avancerad undersökning. Detta projekt startade under titeln, ”ökat tillåtet grundtryck på berg” eftersom det förekom en diskussion där man ifrågasatte den övre begränsningen på 10 MPa. Men i stället kom projektet att fokusera på att ta fram ett underlag för en mindre trubbig metodik än det tillvägagångssätt som framgår av TK Geo 13, vid bestämning av tillåtet grundtryck, oavsett om det är högre eller lägre. Därför redovisar projektet istället karaktäristiska tillåtna grundläggningstryck baserat på etablerad metodik (klassificeringssystem) kopplat till brottkriterium för bergmassor, för att ta fram en mer tillförlitlig bedömning av bergmassans mekaniska egenskaper. Metodikens giltighet har sedan kontrollerats genom jämförelse med resultat från numerisk analys under motsvarande bergmassors egenskaper. Förhoppningsvis skall resultat som redovisas i denna rapport kunna utgöra ett bra underlag för att uppdatera gällande tekniska krav avseende bedömning av tillåtet grundläggningstryck för fundament och grävpålar på berg.

Arbetet har utförts av Erling Nordlund (LTU), Erim Guclu (LTU) och Lars-Olof Dahlström (LTU, Golder Associates AB). En referensgrupp har följt projektet och bidragit med värdefulla kommentarer både vid referensgruppsmöten och vid granskning av rapportversioner. I referensgruppen representerades Beställaren av Olle Olofsson (Trafikverket), Projektören av Ulf Lindblom (GECON AB), Entreprenören av Staffan Swedenborg (Golder Associates, tidigare NCC) och BeFo av Per Tengborg.

Projektet har förutom Stiftelsen Bergteknisk Forskning (BeFo) också finansierats av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF).

Stockholm, juli 2021

Per Tengborg

SAMMANFATTNING

Det grundtryck som kan tillåtas vid grundläggning på berg kontrolleras/styrs av bergmassans mekaniska egenskaper. Bestämning av tillåtet grundtryck i Sverige sker emellertid vanligen väldigt schematiskt enligt Trafikverkets tekniska Krav för geokonstruktioner- TK Geo 13 (Dokument-ID TDOK 2013:0667). Detta innebär vid grundläggning på berg att tillåtet grundtryck ofta är missvisande och på kristallint berg ofta underskattas. Tillåtet grundtryck utvärderas inte utifrån bergets egenskaper, utan bestäms av mycket konservativ och förenklad förutsatt metod.

Syftet med detta dokument är utvärdera en mer tillförlitlig metodik för att ta fram ett karaktäristiskt tillåtet grundläggningstryck baserat på systematisk utvärdering av bergmassans mekaniska egenskaper. Vidare är syftet också att dokumentet skall kunna utgöra ett underlag som medför att ett mindre trubbigt och en mer tillförlitlig metodik, än den som redovisas i TK Geo, används för att ta fram ett dimensionerande grundtryck vid grundläggning på berg.

I detta fall har metodiken baserats på Hoek & Browns brottkriterium för bergmassor och det tillhörande systematiska tillvägagångssättet, klassificeringsmetod (GSI och RMR) för att bedöma bergmassans egenskaper och indata till modellen.

Vid utvärdering av tillåtet karaktäristiskt grundläggningstryck har en kristallin bergmassa delats upp i fyra olika klasser, mycket bra berg till dåligt berg. För utvärdering har vi valt en gnejsformation där medelvärdet av den enaxiella tryckhållfastheter på intakta bergprover mätts till 140 MPa. De enligt metodiken framtagna karaktäristiska tillåtna grundläggnings-trycken för de olika bergkvaliteterna redovisas i Tabell I.

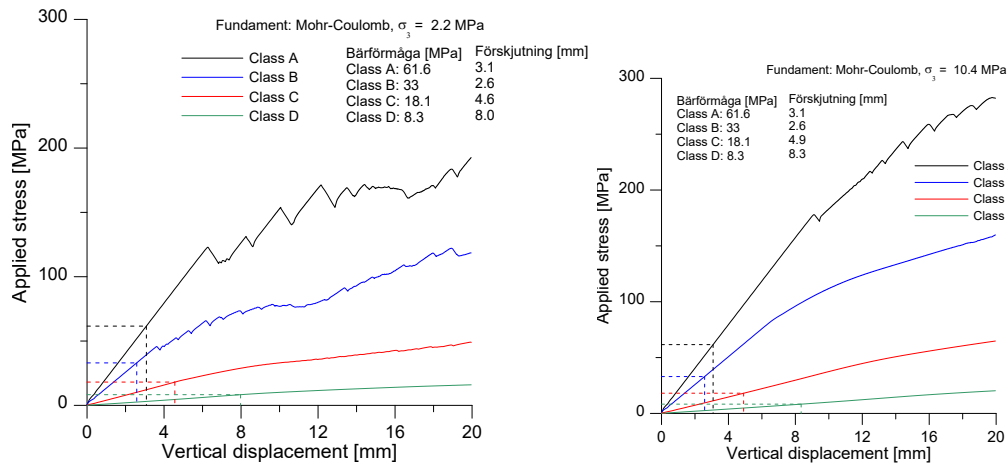
Tabell I Karaktäristiskt tillåtet grundtrycket för bergklass A till D

Bergklass	RMR	GSI (RMR-10)	Bergkvalitet	Tillåtet karaktäristiskt grundtryck [MPa]	Deformations- modul [GPa]
A	$>80 \leq 100$	80	Mycket bra berg	62	35
B	$>60 \leq 80$	60	Bra berg	33	15
C	$>40 \leq 60$	40	Rimligt berg	18	4
D	$>20 \leq 40$	20	Dåligt berg	8	2

En litteraturgenomgång visar en rad olika bärighetsformler för att ta fram ett tillåtet grundläggningstryck som varierar mer eller minder stora. Resultaten visar vanligen ett maximalt tillåtet grundtryck baseras på enbart hållfasthet utan hänsyn tagen till tillåten förskjutning. När sättningen är kritisk bör tillåtet grundtryck också kopplas till tillåten vertikal förskjutning. Därför redovisas också i tabellen den enligt metodiken utifrån Hoek & Browns brottvillkor framtagna deformationsmoduler för de olika bergkvaliteterna.

För att verifiera eller jämföra de enligt tabellen framtagna tillåtna karaktäristiska grundläggningstrycken har numerisk analys utförts för de fyra bergmassorna A-D med tillhörande mekaniska egenskaper. I Figur I redovisas resultatet från den numeriska analysen. I figuren är de i Tabell I listade tillåtna grundtrycken markerade, som tagits fram enligt metodik baserat på Hoek & Browns brottkriterium för bergmassor, så det framtagna

grundläggningsrycken kan kopplas till aktuella vertikala förskjutningar. Enligt figuren är den vertikala förskjutningen rimlig för de framtagna tillåtna grundtrycken.



Figur I Pålastning av fundament som funktion av vertikal förskjutning under fundament.

Nyckelord: grundtryck, bärförmåga, fundament, grävpålar

SUMMARY

The bearing capacity which can be accepted for foundation on rock depends on the rock mass and its mechanical conditions. However, determination of the admissible bearing capacity in Sweden today, is normally done by a simple schematic system according to the Swedish Transport Administration document Tekniska krav för geokonstruktioner, TK Geo 13 (Dokument-ID 2013:0667). This means often that the admissible bearing capacity is underestimated. The admissible ground pressure is not estimated based on true rock mass condition, but on a very conservative and simplified prerequisite method.

The objective of this document is to evaluate a more reliable methodology to evaluate a characteristic admissible bearing capacity for fundament and bored piles founded on rock, based on systematic evaluation of the rock mass mechanical conditions. Further, the objective is to serve as a ground for decision to establish a less blunt, and more reliable methodology to evaluate the characteristic design load for foundation on rock, than the methodology presented in TK Geo.

The proposed methodology is based on Hoek & Browns failure criteria for rock masses and the coupled systematic classification method GSI to evaluate rock mass condition and input to the model.

When evaluating the admissible bearing capacity, a crystalline rock mass has been divided in four rock classes, very good, good, fair, and poor rock conditions. In this case, for evaluation a gneissic rock mass has been chosen. The uniaxial compressive strength of intact rock is 140 MPa, evaluated from intact rock specimens tested in the laboratory. The results by using the methodology, for the rock mass quality respectively, is presented in the Table II.

Table II

Rock Class	RMR	GSI (RMR-10)	Rock Quality	Admissible Characteristic bearing capacity [MPa]	Deformation modulus [GPa]
A	$>80 \leq 100$	80	Very good	62	35
B	$>60 \leq 80$	60	Good	33	15
C	$>40 \leq 60$	40	Fair	18	4
D	$>20 \leq 40$	20	Poor	8	2

The literature review included in this study shows several different suggested formulas to estimate the bearing capacity. The result varying between the formulas. In most formulas, the bearing capacity is based only on strength, without considering allowable displacements. When displacement is critical the admissible bearing capacity should be coupled to the admissible vertical settlement. The deformation modulus estimated according to the Hoek & Brown methodology, for each rock class are presented in the Table II.

To verify or compare the characteristic bearing capacities presented in the Table II, a numerical analysis for each rock class A to D has been performed. Figure II below, presents the results from the analysis. In Figure II also the admissible characteristic bearing capacity estimated according to Hoek & Browns failure criterion for rock masses is presented by dashed lines. As can be seen, the vertical displacements for the estimated bearing capacities are quite reasonable.

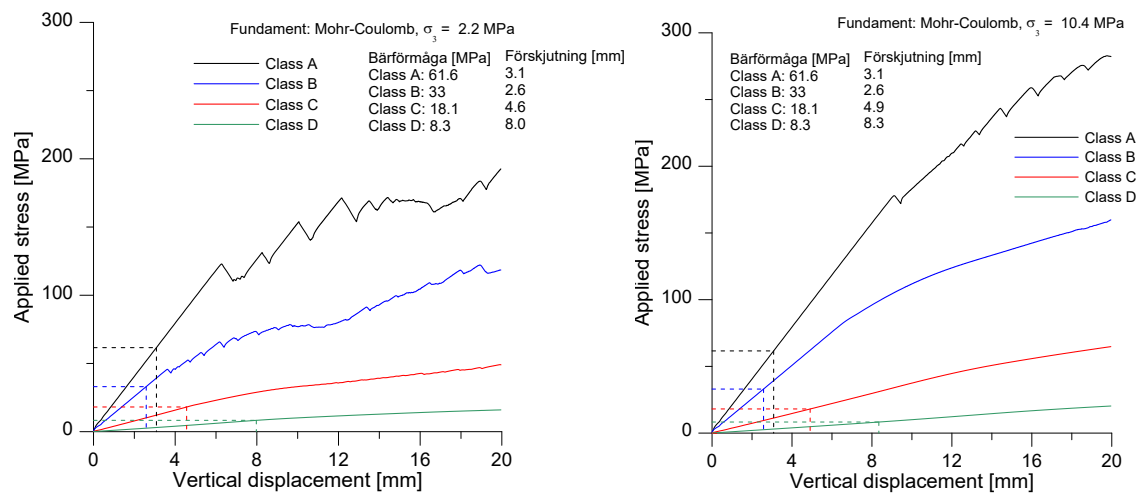


Figure II Loading of the foundation as a function of vertical displacement of the ground surface beneath the foundation.

Keywords: ground pressure, bearing capacity, foundation, bored piles