6063

CHALMERS

Ejh.

Undergrundens betydelse för vägens strukturella tillstånd

En studie av vägar på lös lera

PIA ANDERSSON

Institutionen för geoteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2000

Innehållsförteckning

FÖRORD I
SUMMARY V
SAMMANFATTNING X
DEFINITIONER XV
BETECKNINGAR XVI

1 INTRODUKTION 1

1.1 VÄGNÄTET OCH DESS UNDERHÅLLSBEHOV 1
1.2 VÄGBYGGNADSTEKNISK PROBLEMIDENTIFIERING 2
1.3 SYFTE MED STUDIEN 4
1.4 UPPSATSENS DISPOSITION 5

2 LITTERATURSTUDIE 6

2.1 VÄGBYGGNADSTEKNIK 6
2.1.1 Mekanismer som orsakar permanenta deformationer 7
2.2 SPÄNNINGSSITUATION I UNDERGRUNDEN 9
2.2.1 Beräkning av tillskottsspänningar i jord 11
2.3 LERANS EGENSKAPER VID SMÅ TÖJNINGAR 14
2.3.1 Medeleffektivspänning och portal 17
2.3.2 Töjningsamplitud 19
2.3.3 Antalet cykler och frekvens 21
2.3.4 Metoder för bestämning av lerans egenskaper vid små töjningar 21
2.4 VÅGUTBREDNING I JORD 22
2.5 TILLSTÅNDSBEDÖMNING AV VÄGAR 25
2.5.1 Spårdjupsmätningar och jämnhetsmätningar 26
2.5.2 Fallviktsförsök-FWD 26
2.5.3 Ytvågsseismik-SASW 28
2.5.4 Seismisk CPT-sondering 32
2.5.5 Dynamiska triaxialförsök 33

3 TILLSTÅNDSBEDÖMNING AV VÄGAR 36

3.1 STRUKTURELLA SKADOR 36
3.1.1 Okulär skadebesiktning 38
3.1.2 Spårdjupsmätning 40
3.1.3 Bestämning av IRI 41
3.1.4 Prognosticering av spårdjup och IRI m h t nötning 41
3.2 SAMVERKAN MELLAN ÖVERBYGGNAD OCH UNDERGRUND 43
3.2.1 Bestämning av spänningssituation i undergrunden 44
3.2.2 Bestämning av elastiska töjningar i undergrunden 51
3.2.3 Bestämning av plastiska töjningar i undergrunden 61
3.3 DISKUSSION 65

4 FÄLTUNDERSÖKNINGAR 67

4.1 VAL AV PROVLOKALER 67
4.2 PROVLOKAL E6-LJUNGSKILE 69

4.2.1 Beskrivning av överbyggnadskonstruktionen ... 71
4.2.2 Beskrivning av grundläggningsförhållanden ... 72
4.2.3 Okulär skadebesiktning ... 75
4.2.4 Spårdjupsmätningar ... 76
4.2.5 Försök för att bestämma vägkroppens elastiska egenskaper ... 80
4.2.6 Analys E6-Ljungskile ... 88
4.3 PROVLOKAL E6-FJÄRÅS ... 92
4.3.1 Beskrivning av överbyggnadskonstruktionen ... 94
4.3.2 Beskrivning av grundläggningsförhållanden ... 95
4.3.3 Okulär skadebesiktning ... 97
4.3.4 Spårdjupsmätningar ... 97
4.3.5 Mätningar för att bestämma vägkroppens elastiska egenskaper ... 100
4.3.6 Analys E6-Fjärås ... 106
4.4 PROVLOKAL E18-ARBOGA ... 111
4.4.1 Beskrivning av överbyggnadskonstruktionen ... 113
4.4.2 Beskrivning av grundläggningsförhållanden ... 114
4.4.3 Okulär skadebesiktning ... 116
4.4.4 Spårdjupsmätningar ... 117
4.4.5 Mätningar för att bestämma vägkroppens elastiska egenskaper ... 119
4.4.6 Analys E18-Arboga ... 124
4.5 SAMMANFATTNING OCH DISKUSSION ... 129
4.5.1 Försöksmetoder ... 130
4.5.2 Tillståndsbedömning ... 131

5 DYNAMISKA TRIAXIALFÖRSÖK ... 134

5.1 FÖRSÖKSPROGRAM ... 134
5.1.1 Konsolidering ... 136
5.1.2 Försöksutformning och inledande försök ... 137
5.1.3 Triaxialutrustning ... 142
5.2 RESULTATREDOVISNING ... 143
5.2.1 Försök nummer två ... 145
5.2.2 Försök nummer tre ... 146
5.2.3 Försök nummer fyra ... 147
5.3 ANALYS ... 149
5.3.1 Portrycksuppbyggnad ... 149
5.3.2 Spänningsväg ... 153
5.3.3 Plastisk- och elastisk töjning ... 154
5.3.4 Skjuvmodul ... 155
5.4 SAMMANFATTNING OCH DISKUSSION KRING GEOTEKNISKA EGENSKAPER OCH VÄGAR ... 157

6 SLUTSATSER ... 161

6.1 ELASTISKA TÖJNINGAR I UNDERGRUNDEN ... 161
6.2 PLASTISKA TÖJNINGAR I UNDERGRUNDEN ... 163
6.3 FÖRSLAG PÅ FORTSATTA STUDIER ... 163

REFERENSER ... 165
APPENDIX A, B, C

Sammanfattning

Bakgrund

Utbyggnaden av vägnätet har under de senare åren varit relativt omfattande. Det finns idag ca 440 000 km vägar i Sverige. I framtiden kommer en betydande del verksamheten att bestå av underhåll av det befintliga vägnätet och därmed kommer behovet av en metodik för tillståndsbedömning av vägar att öka. Traditionellt sett dimensioneras vägar utefter en stark empirisk förankrad modell. Denna modell är emellertid svår att tillämpa på förstärkningsobjekt, eftersom modellen inte kan ta hänsyn till den befintliga konstruktionens egenskaper. Ett ökat förstärkningsbehov och krav på optimalt resursutnyttjande driver därmed utvecklingen av vägdimensioneringen mot ett mekanistiskt-empiriskt angreppssätt. Angreppssättet kräver dock fördjupad kunskap inom ett flertal områden, t ex materialegenskaper för i vägkroppen ingående material liksom kunskap om brottförlopp samt de mekanismer som styr samverkan mellan överbyggnad och undergrund.

Syftet

Syfte med föreliggande uppsats har varit att öka förståelsen för samverkan mellan vägöverbyggnad och undergrund av lera, d v s på vilket sätt undergrundens plastiska och elastiska egenskaper påverkar vägens strukturella tillstånd. Vidare har syftet också varit att om möjligt lägga grunden till en metodik för tillståndsbedömning med hänsyn till undergrunden. Vägens tillstånd har studerats endast m h t strukturella egenskaper d v s egenskaper som kan hänföras till bärighet och ytmaterialets kondition t ex spår- och sprickutveckling.

Tillståndsbedömning av vägar

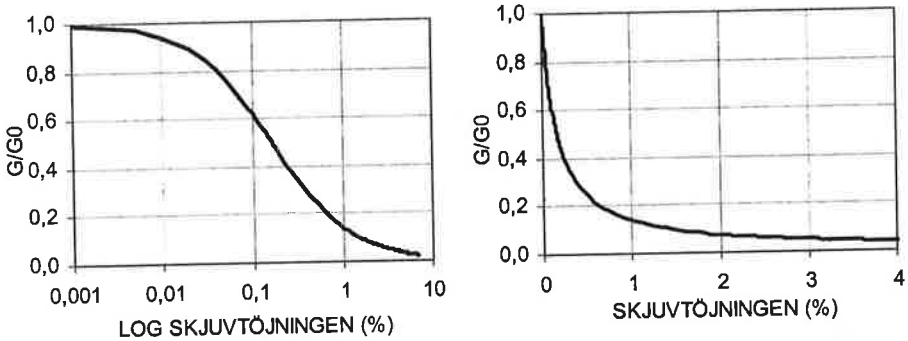
Det sker en kontinuerlig nedbrytningsprocess från det att en väg tas i bruk. Orsaken till strukturell nedbrytning av vägar kan vara styvhets-, nötnings-, frost och/eller dräneringsrelaterad. Skadorna syns på vägytan, som utmattningssprickor eller spårbildning. Undergrundens förmåga att motstå formändring torde vara av mycket stor betydelse, för de mekanismer som styr spår- och sprickutveckling i en vägkonstruktion, inte minst för vägar grundlagda på lös lera. Storleken på den elastiska töjningen i undergrunden beror av spänningssituationen på terrassnivån och lerans deformationsegenskaper.

En vek undergrund kan medföra omlagring och uppluckring av ovanliggande obundna lager, som i sin tur kan resultera i spår på vägytan och utmattningssprickor i asfalten. En mycket vek undergrund kan medföra att vägen gungar i samband med varje hjulpassage p g a stora elastiska töjningar. Asfaltlagret kommer därmed att utsättas för hög dragtöjning i dess underkant, vilket kan leda till att sprickor utbildas och propagerar upp till vägytan. När asfalten försvagas måste det obundna överbyggnadsmaterialet bära en större del av lasten med risk för spårbildning. Sprickuppkomsten medför också att vatten kan tränga ner i överbyggnaden och orsaka skador.

Om den permanenta deformationen, plastiska töjningen, i undergrunden är stor återspeglas deformationen på vägytan som spår. Permanent deformation i undergrunden kan troligen utbildas på åtminstone fyra olika sätt i en lerterrass. (i) Det kan utbildas ett bärighetsbrott i leran d v s lerans skjuvhållfasthet överskrids vid trafikbelastning. (ii) Trafikbelastningen kan också orsaka ett ackumulerat porövertryck i lerterrassen, som i sin tur kan leda till ett lokalt brott eller flytning i leran och därmed stora plastiska töjningar. Även om leran inte går till brott eller plasticseras kan plastiska deformationer utbildas. (iii) Vid varje belastningspuls genereras ett porövertryck, som till största delen försvinner när den dynamiska belastningen är noll. Porövertrycket uppkommer p g a små elastiska skjuvtöjningar i terrassen, som förändrar kornskelettet, Horvli (1989). Med ökat antal belastningscykler minskar porövertrycket under varje belastningspuls d v s leran läker, varvid plastiska deformationer kan utbildas lokalt i terrassytan. (iv) Ett annat fenomen som kan uppträda är att sensitiv lera störs och tränger upp genom fiberduken och upp i förstärkningslagret, varvid en permanent deformation utbildas på terrassnivån. Den uppträngda leran försämrar dessutom förstärkningslagrets egenskaper.

Vägkonstruktioner skiljer sig i många avseende från traditionella geokonstruktioner. Konstruktionerna är ytnära och utsätts för helt andra spänningar och töjningar. Detta kräver en ökad förståelse för jordmaterialens deformations- och hållfasthetsegenskaper vid små töjningar. Dessutom utsätts vägkonstruktionen för dynamisk belastning och inte enbart statisk som så många andra geotekniska konstruktioner.

Modulens beroende av töjningen beskrivas i en modulreduktions kurva, se figur S.1.



Figur S.1 Modulreduktionskurva m h t töjningen i logaritmisk och naturlig skala.

Provlokaler

Tre provlokaler med skador har studerats i syfte att verifiera betydelsen av undergrundens elastiska egenskaperna för vägens strukturella tillstånd och att definiera skadeorsaken. Två av provlokalerna är delar av E6, söder och norr om Göteborg, och den tredje provlokalen är en del av E18 mellan Arboga och Köping. Den optimala provlokalen har i detta avseende varit en vägsträcka, för vilken undergrundsmaterialet utgörs av fastmark och fast lera som successivt övergår till lös lera. Provlokalen E6-Ljungskile går i jordskärning i siltig och sensitiv lera. Den andra provlokalen E6-Fjärås går dels på låg bank och dels i skärning över lös och gyttjig lera. Den tredje provlokalen, E18-Arboga går på låg bank över fast jord och lös bräckvattenavsatt lera.

- Fältförsök

Fältförsöken har innefattat okulär skadebesiktning och spårdjupsmätning för att dokumentera skadornas omfattning inom provlokalerna. För att bestämma vägkroppens elastiska egenskaper samt studera samverkan mellan överbyggnad och undergrund har fallviktsförsök, seismik-CPT sondering och ytvågsseismik genomförts.

- Dynamiska triaxialförsök

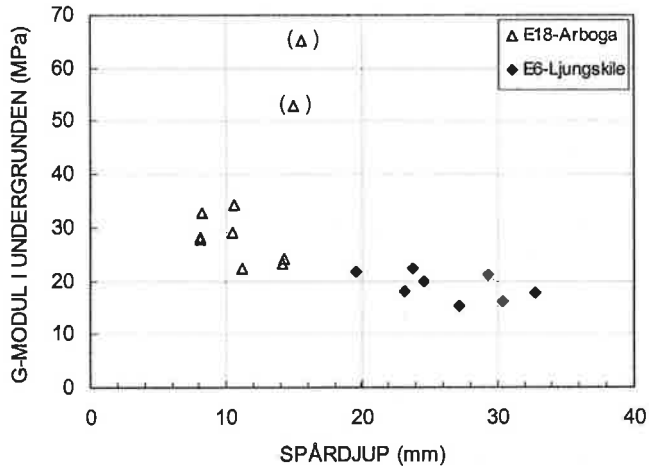
Fem dynamiska triaxialförsök har utförts i syfte att studera tre olika lertypers deformationsegenskaper samt portrycksuppbyggnad och huruvida leran kan förväntas gå till brott under en simulerad trafikbelastning. De analyserade lertyperna är sensitiv lera från E6-Ljungskile, gyttjig lera från E6-Fjärås och bräck- eller sötvattenavsatt lös lera från E18-Arboga. Försöken har utförts vid ett spänningsförhållande och en spänningsnivå som motsvarar förhållandena in situ på terrassnivå. Proverna har belastats upp till 246800 cykler med en halvsinusformad vertikal belastningscykel.

Analys och resultat

- Fältförsök

Beroende av undersökningsmetoden kommer den utvärderade skjuvmodulen att variera, eftersom töjningen vid vilken försöken genomförs är olika. Jämförelse av resultat från olika undersökningsmetoder bör därför endast ske relativt eller med hänsyn tagen till töjningens storlek. Fältförsöken har visat att skjuvmodulen i undergrunden kan variera så mycket som 25 MPa eller 400% beroende av undersökningsmetod.

Jämförelse av spårdjup i förhållande till skjuvmodulen i undergrunden har givit, att spårdjupsutvecklingen beror av modulen, inom provlokalerna E18-Arboga och E6-Ljungskile, se figur S.2



Figur S.2 Spårdjupet som en funktion av undergrundens skjuvmodul. Provlokalen E6-Ljungskile och E18-Arboga.

- Dynamiska triaxialförsök

Triaxialförsöken har genomförts på två lertyper, som båda tillhör materialtyp 5, enligt VÄG 94, siltig lera och gyttjig lera. Lertyperna uppvisade något olika egenskaper vid dynamisk belastning, vilket beror på att siltiga leror har betydligt lägre plasticitetstal än gyttjiga leror. Vid dynamisk belastning blir portrycksutvecklingen större och skjuvmodulen något lägre ju högre plasticitetstal leran har.

Ur vägbyggnadsteknisk synvinkel har variationen i skjuvmodul betydelse utifall skjuvtöjningarna är mycket små, eftersom den stora skillnaden för olika leror är i initialmodulen, G_0. Om skjuvtöjningsnivån på terrassnivån

är i storleksordningen 0,1% till 0,2%, som de har varit i dessa försök, blir skjuvmodulen i stort den samma oberoende av plasticitetstalet. Det finns dock studier som visar att skjuvtöjningsnivån är lägre på en lös lerterrass, 10^{-4}% till 10^{-3}%, Andreasson (1979). Skjuvmodulen skulle därmed variera med lertypen i undergrunden och det skulle spela en större roll, vilken typ av lera vägen grundläggs m h t tillståndsutvecklingen.

Den utvärderade elasticitetsmodulen blir 75% lägre än vad som rekommenderas i VÄG 94 för materialtyp 4 och 5 för analytisk dimensionering.