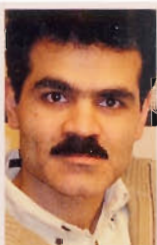


Vibrationsproblem

vid tunnelsprängning i bebyggda områden



Mehdi Bahrekazemi,
civ ing, K98,
tekn dir
Golder
Associates

Anders Bodare,
ass professor
jord- och berg-
mekanik
KTH

Sven-Erik Johansson,
Bergsingenjör
Lu77, Nitro
Consult



K. Rainer Massarsch,
civ ing,
Wien 70,
tekn dir
Vibisol
International



Den 30 maj 2007 anordnade SGFs Markvibrationskommitté ett seminarium med ämnet: "Vibrationer vid tunnelarbeten: Projektering – utförande – kontroll." Frågeställningen belystes ur olika perspektiv, med ett inledande föredrag av Dr. Trevor Orr, Trinity College som berättade om vibrationsproblem i samband med TBM-tunnelborrning i Dublin. Dessutom presenterades svenska tunnelprojekt, där vibrationsfrågor är av stor teknisk och ekonomisk betydelse. Därefter belystes olika aspekter av markvibrationer vid tunnelarbeten. En dokumentation av föredragen i elektronisk form kan beställas genom SGFs Markvibrationskommitté. Denna artikel sammanfattar några av frågeställningarna som togs upp av olika föredragshållare.

I samband med stora tunnelprojekt i tätbebyggda områden kan vibrationer och buller uppstå på grund av borrhäns- eller sprängningsarbeten, men även schaktning, jordpackning eller slagning av spont kan ge upphov till om-

givningspåverkan. TBM metoden är relativt skonsam men kan under ogynnsamma förhållanden medföra störande vibrationer, främst i form av stomljud och buller. I Sverige sker tunneldrivning ofta genom sprängning. I samband med stora

infrastrukturprojekt såsom Norra länken och Citybanan i Stockholm samt Götatunneln i Göteborg måste sprängningsarbeten utföras i närhet av belintliga tunnlar eller direkt under vibrationskänsliga byggnader.

Stor betydelse för tidplan och kostnad

Omgivningspåverkan i form av vibrationer och bullerstörningar har stor betydelse för tidplanen och kostnaderna av dessa projekt. Därför utförs under projekterings- och genomförandefasen detaljerade riskanalyser, som kontinuerligt uppdateras genom omfattande vibrationsmätningar. Provsprängningar kan vara av stor nytta när sprängning skall utföras i närheten av vibrationskänsliga anläggningar.

Vid T-Centralen i Stockholm till exempel passerar under rusnings-trafiken upp till 30 tåg per timme i varje riktning och en avstängning eller begränsning av tunnelbanetraffiken har därför stora ekonomiska men även sociala konsekvenser. Sprängnings- och anläggningsarbeten i närhet av SLs spår- och tunnelanläggningar regleras genom olika anvisningar. Den högsta tillåtna vibrationsnivån som får förekomma utan avstängning av tunneltraffiken är 10 mm/s. Om högre vibrationsnivåer än 30 mm/s skall tillåtas krävs särskilda utredningar. Därför utfördes i samband med Citybanan projektet omfattande provsprängningar som ligger till grund för dimensioneringen av sprängningsarbeten.

Vågutbredning vid tunnelsprängning

Vid sprängningsarbeten i tunnlar påverkas befintliga tunnlar, undermarksanläggningar samt byggnader på markytan. Vågutbredningens riktning och vibrationers karaktär är i hög grad beroende av de geologiska förutsättningarna, såsom förkastningszoner, sprickor i berg och jordlagars dynamiska egenskaper. Vibrationernas dominerande svängningsriktning styrs av sprängplatsens läge i förhållande till den påverkade byggnaden. Det är således inte ovanligt att tunnelsprängning kan resultera i höga horisontal-svängningar, jfr Figur 1.

De vibrationer som alstras vid sprängningen fortplantas från sprängplatsen i form av olika vågtyper. Vid tunnelsprängning kan antas att P-vågen dominerar innan vågorna når markytan. För beräkning av förväntade vibrationsnivåer används ofta den så kallade skal-lagsformeln

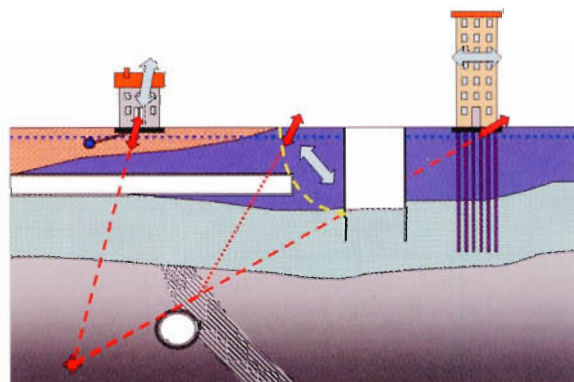
$$v = K \left(\frac{R}{Q^{0.5}} \right)^n \quad (1)$$

där v är svängningshastigheten (mm/s), R är avståndet från sprängplatsen till mätpunkten (m), Q är den samverkande laddningsmängden (kg), K är den så kallade berg-

konstanten, och n är en parameter som beskriver vågutbredningen. Både K och n är empiriskt bestämda faktorer.

Riskbedömning vid sprängningsarbeten

När vågorna från sprängning når ett objekt (t ex en byggnad, tunnel eller en installation) finns risk för skador som kan bero på ett flertal faktorer, såsom vibrationskällans karakteristik (vibrationsintensitet och frekvens), jord och bergs dynamiska egenskaper, byggnadens dynamiska respons och avståndet mellan vibrationskällan och objek-



Figur 1. Vibrationer som alstras vid bergsprängning kan påverka befintliga byggnader och anläggningar både under och ovanpå markytan.

Jord, berg och grundvatten

Sveriges geologiska undersökning, SGU, är den statliga myndighet som ansvarar för frågor som rör Sveriges geologi. Vi ger dig information om berggrund och bergkvalitet, jordlager och skyddsvärda grusförekomster, grundvattentillgångar m.m.

Besök oss på vår webbplats www.sgu.se
Eller ring oss på tel. 018-17 90 00.

SGU
Sveriges geologiska undersökning



ter. För att kunna bedöma skaderisken används ofta riktvärden enligt svensk standard SS 460 48 66 där toppvärdet av vibrationen i vertikal riktning används. Standarden gäller beräkning av riktvärden för sprängningsinducerade vibrationer i byggnader. Dessa riktvärden skall användas vid bestämning av tillåtna vibrationsnivåer, gränsvärden, vid sprängningsarbeten. I svensk standard förekommer begreppen "gränsvärde" och "riktvärde" utan att skillnaden mellan dessa begrepp är förklarad. I SLs Allmänna anvisningar Fö-I-364 ges en tydligare vägledning:

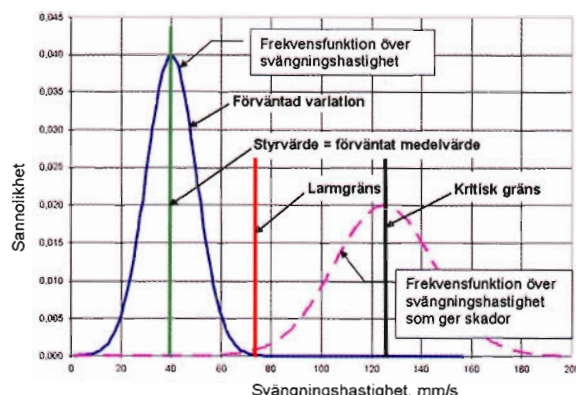
Gränsvärde: Arbeten avbryts. Orsak till överskridande ska utredas och åtgärder vidtagas. Arbete får sättas igång endast efter godkännande av SL. **Larmvärde:** Meddelande och mätvärde ska tillsändas ansvarig person inom SL samt orsak till överskridande ska utredas och åtgärder vidtagas i samråd med SL.

Statistiskt valda gränsvärden

Svensk Kärnbränslehantering AB har genomfört en omfattande utredning för en planerad Inkapslingsanläggning inom CLAB (Centralt Lager för Använt Bränsle) och tagit fram rekommendationer för användande av larmsystem, som upprättades efter genomförandet av CLAB-2, Olsson och Stille (2001). De framhåller betydelsen av att skilja mellan: kritisk gräns, larmgräns, styrvärde och förväntat värde, jfr Figur 2.

Kritiska gränsen: en gräns där skador förväntas med en oacceptabelt hög sannolikhet.

Larmgränsen: ett förutbestämt värde på en eller en kombination



av mätstorheter som om den överskrids utlöser ett förutbestämt agerande. Sätts så att fara verkligen är nära och åtgärder behövs omgående vid överskridande. Ett för konservativt val ger onödiga larm och tilltron till systemet urholkas.

Styrvärde: ett vibrationsvärde satt så att sprängningarna kan ske optimalt med tillräckligt låg sannolikhet att överskrida larmgränsen.

Förväntat värde: det mest sannolika värdet som inträffar vid en given design av salvorna.

Skador förorsakade av sprängningsarbeten – löser Svensk Standard alla problem?

Svensk Standard bygger på erfarenheter från en tidsperiod då vibrationsmätningar var både komplicerade och dyra. Därför mättes vibrationer endast i en (vertikal) riktning. Som framgår av Figur 1 sker vibrationsutstrålning vid tunnelsprängning i olika riktningar. I vissa fall är det därför av intresse att mäta vibrationsamplituden i tre riktningar. Särskilt vid sprängning intill befintliga tunnlar beror vibrationspåverkan i hög grad på det

Figur 2. Exempel på styrvärde, larmgräns och kritisk gräns i förhållande till frekvensfunktionerna vid sprängning och vid skada.

relativa läget mellan sprängplatsen och det påverkade objektet.

Riktvärdet vid sprängning avser vibrationsvärdet i grundläggningsnivån och kan enligt Svensk Standard beräknas med hjälp av följande formel

$$v = v_0 F_k F_d F_i \quad (2)$$

där v_0 är den okorrigerade svängningshastigheten (mm/s), som är beroende av typ av undergrund. Det är anmärkningsvärt att inverkan av grundvattennivån inte omnämns eftersom den har stor betydelse för vågutbredningen. Om en noggrannare bestämning av v_0 erfordras kan tryckvågens utbredningshastighet mätas och följande formel användas (mätning skall ske i grundläggningsnivå)

$$v_0 = \frac{C_p}{65} \quad (3)$$

där v_0 anges i mm/s och C_p i m/s. Tabell 1 visar typiska värden av P-våghastigheten för olika jordmaterial och grundvatten samt v_0 enligt ekv. (3). Det i svensk standard rekommenderade värdet (18 mm/s) skiljer sig väsentligt från v_0 beräknad enligt ekv. (3) för lösa jordlager.

Svensk standard anger som skadekriterium den vertikala svängningshastigheten men även andra dynamiska parametrar såsom vi-



Välkommen att bygga överallt

Pålplintar utför grundläggning, oavsett geotekniska förhållanden. Vi arbetar med all slags pålning, spontning och borrhning i både små och stora projekt.

Kontakta oss -- var eller vad du än vill bygga.

www.palplintar.se

Jordart (torr)	C_p m/s	v_o mm/s
Lös sand och silt	200	3
Medelfast sand	400	6
Mycket fast sand	600	9
Lös grus och singel	800	12
Fast morän	1000	15
Grundvatten	1450	22
Vattenmättad morän	1600	25
Sandsten	3000	46

Tabell 1. Beräknad v_o -värde för olika jordarter enligt ekv. (3).

brationens frekvensinnehåll (våglängd) och varaktighet (antalet svängningscykler) kan vara av betydelse för skadeverkan.

Skador i samband med vibrationer

Risker och problem som kan uppstå på grund av vibrationer i jord och berg vid sprängningsarbeten kan vara:

- Sprickor och mindre skador på byggnader
- Skador på byggnadens bärande

- delar (vanligtvis inte aktuellt)
- Utfall av mindre block eller sprutbetong i närliggande berg- rum/berg tunnlar
- Risk för ökade vattenläckage i undermarksanläggningar
- Risk för försämrade stabilitet för hus grundlagda på branta sluttningar
- Risk för sättning i lösa sandlager
- Risk för skador på eller funktionsstörning av vibrationskänsliga utrustningar
- Störning av människor/djur på grund av buller och vibrationer

Skador på byggnaders bärande delar är tänkbart om en mycket

"Sprickor i samband med sprängningsarbeten inträffar oftast i byggnader med inbyggda spänningar"

kraftig sprängning sker på kort avstånd. Vanligtvis uppstår i samband med välplanerade sprängningsarbeten endast "kosmetiska" sprickor i byggnader. För att sprickor skall kunna uppstå krävs att töjning i materialet som förorsakas av olika faktorer överskrider ett kritiskt värde, jfr Figur 3. Sprickor i samband med sprängningsarbeten inträffar oftast i byggnader med inbyggda spänningar, t ex byggnader med ojämn grundläggning eller sättningsskadade hus.

För höga vibrationsnivåer kan ibland resultera i utfall av block i berg- rum eller tunnlar. Detta brukar undvikas genom begränsning



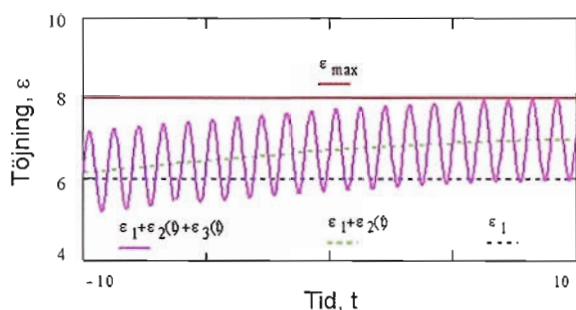
Statens geotekniska institut, SGI, verkar för att frågor om mark och vatten hanteras rätt vid planering och byggande.

Vår verksamhet bygger på ett nära samspel mellan forskning, rådgivning och information inom markanvändning, markbyggande, naturresursplanering och miljövard.

www.swedgeo.se



Välkommen att kontakta oss i Linköping, 013-20 18 00, Göteborg, 031-778 65 60, Malmö, 040-35 67 70 eller Sundsvall, 060-16 21 50.



Figur 3. Sprickor förekommer i materialet om summan av töjning på grund av statisk belastning, ϵ_1 , cykliska laster som till exempel temperaturändringar, ϵ_2 , och dynamisk belastning på grund av vibrationer, ϵ_3 , överskrider en kritisk töjning, ϵ_{max} .

av vibrationsnivåerna. I de fall en begränsning av vibrationsnivå inte är ekonomiskt motiverad kan olika förstärkningsåtgärder användas, t.ex. sprutbetong eller/och bultning, för att öka den tillåtna vibrationsnivån.

Vibrationer kan ge upphov till kompaktering av lösa sandlager och därigenom sättningar som i sin tur kan medföra skador på

byggnaders grundkonstruktion. Vibrationer kan också medföra en temporär ökning av porvattentryck och motsvarande minskning av skjuvhållfasthet, som kan leda till jordförvätskning ("liquefaction"). Dessa frågeställningar behandlas inte i svensk standard men kan under ogynnsamma förhållanden förorsaka sättningsskador eller stabilitetsproblem (jordförvätskning).

Utvecklingsbehov

Svensk standard kan användas vid konventionella vibrationsproblem och för mer komplexa frågeställningar ger standarden en indikation vilka riktvärden som kan tillämpas. Det senare är dock inte alltid tillräckligt utan för vissa konstruktioner/förhållanden krävs mer ingående beräkningar och analyser för att ta fram underlag för vibrationsrestriktioner.

Innehålls gränsvärdena så blir det normalt inga skador. I de fall skador uppstår är dessa ofta kosmetiska skador där det i många sammanhang är diskussioner om

förbesiktningen var tillräckligt noggrann. Erfarenheter från vibrationsmätningar och besiktningar vid stora sprängningar i Malmfälten visar att Svensk Standard ger ett realistiskt bedömningsunderlag. Även där riktvärdena överskridits har i många fall inga skador påträffats.

Nytt fokus för FoU

Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF, har initierat en studie av utvecklingsbehov vid sprängningsarbeten i tätbebyggda områden.

Sprängteknisk FoU har hittills fokuserat på fragmentering och losstagnation av berg i gruvor och tunnlar. Däremot har ingen samordnad forskning bedrivits med avseende på vibrationsutbredning i jord och berg samt vid vilka vibrationsnivåer olika typer av skador, på byggnader och underjordsanläggningar, uppkommer. Det finns heller ingen samlad kunskapsbank av erfarenheter utan kunskaperna ligger hos enskilda konsulter och



Polyfelt TS är speciellt lämpad som separationslager vid grundstabilisering, och används i stor utsträckning vid såväl väg- och järnvägsbyggnad som i alla typer av dräneringssystem.

Sand & Grus AB Jehander
Stockholm, Göteborg, Gävle, Norrköping
www.jehander.se

Vi är specialister på Geosynteter!

Vi importerar och levererar Polyfelt geotextil och geonät.

Polyfelts förstklassiga kvalitetsprodukter erbjuder dig optimala lösningar på tekniska problem.

polyfelt®

Sand & Grus AB Jehander är en av Sveriges ledande leverantörer inom bergmaterialindustrin. Vi utvinner, producerar och säljer berg- och grusmaterial och jordprodukter för bygg- och anläggningsändamål.

Vill du veta mer om Polyfelts Geosynteter, kontakta oss via vår hemsida www.jehander.se eller på telefon:

Teknisk rådgivning: Tommy Berggren, tfn 08-625 63 25
Kundtjänst: tfn 08-625 63 10

JEHANDER
HEIDELBERGCEMENT Group

sprängentreprenörer som utifrån praktiska erfarenheter kan göra mer eller mindre tillförlitliga vibrationsprognoser. Med tanke på de stora infrastrukturprojekt som är på gång i tätbebyggda området finns det all anledning att ett samlat grepp tas för att utifrån erfarenhe-

ter från svensk standard fördjupa kunskaperna för att kunna optimera sprängningsarbetet på ett rationellt sätt.

Nya möjligheter

Den snabba utvecklingen inom elektronikområdet samt effektiva

datainsamlings- och analysmetoder gör det möjligt att utföra omfattande vibrationsmätningar som kan ligga till grund för mera realistiska vibrationsprognoser. Med hjälp av moderna mät- och övervakningssystem kan givare installeras inom riskområdet och varningsmeddelanden erhållas när larmvärden överskrids. Med stöd av vibrationsmätningar kan en databas byggas upp som kan ligga till grund för kostnadseffektiva sprängningsarbeten även vid mycket komplexa förutsättningar, som ofta uppstår vid sprängning i storstadsområden.

Litteraturhänvisningar

- Allmänna anvisningar Fö-l-364: Sprängningsarbeten inom eller i närhet av AB Storstockholms Lokaltrafik spåranläggningar: utgåvenummer 3, gäller från 2006-11-01.
- Allmänna anvisningar Fö-l-365: Riktvärden för sprängningsinducerade vibrationer inom eller i närhet av AB Storstockholms Lokaltrafik spåranläggningar: utgåvenummer 3, gäller från 2006-11-01.
- Allmänna anvisningar Fö-l-366: Anläggningsarbeten i jord och berg inom eller i närhet av AB Storstockholms Lokaltrafik spåranläggningar: utgåvenummer 3 gäller från 2007-07-01.
- Olsson, L, Stille, H: Larmgränser - ett redskap för design av undermarksanläggningar; Föredrag vid Bergmekanikdag i Stockholm 14 mars 2001. Stiftelsen Svensk Bergteknisk Forskning och Svenska Bergmekanikgruppen.
- SIS: Svensk Standard. SS 460 48 66. Vibrations och stöt – Riktvärden för sprängningsinducerade vibrationer i byggnader. Utgåva 2, fastställd 1991-12-04. 10 s.

Läs mer på internet

www.sgf.net

Författarnas e-post

mehdi_bahrekazemi@golder.se
bodare@kth.se
sven-erik.johansson@orica.com
rainer.massarsch@vibisol.com



Hur kan raka rör
leda till rakare pålar?
Fråga Golder.



För en stadig grund att stå på - kontakta Golder. Vi erbjuder problemlösning och strategisk rådgivning inom områdena geo- och miljöteknik. Tillsammans är vi mer än 5000 medarbetare på fem kontinenter. Läs mer på www.golder.se.