

NYA SPONTHANDBOKEN

Ett bättre stöd vid dimensionering av sponter

Det har gått drygt tjugotvå år sedan den tidigare versionen av Sponthandboken gavs ut (1996) och sedan dess har tillämpningsområden, beräkningsteknik och krav i samband med sponter med stämp eller ankare som stödjande konstruktioner utvecklats och ändrats. Den Nya Sponthandboken är utgiven av Pålkommisionen i rapport 107 och presenteras här av Anders Kullingsjö, specialist på geoteknik på Skanska Sverige.

TEXT: ANDERS KULLINGSJÖ, SKANSKA SVERIGE AB

NYA SPONTHANDBOKEN har de förändringar som skett beaktats och något som särskilt betonas är att sponter är samverkanskonstruktioner. Detta innebär bl.a. att den möjliga belastningen på sponten beror på spontens deformationer. Det måste finnas en lämplig säkerhetsmarginal dels mot förväntade påkänningar och deformationer i bruksstadiet och dels mot effekten av kraftigt reducerad hållfasthet i jorden vid brottstadiet. Krav på säkerhetsmarginal grundas på den europeiska standarden för dimensionering av geokonstruktioner EN 1997:2005.

Vid sidan av de traditionella metoder som utgår från analytiska jämviktsberäkningar behandlas även mer komplexa samverkansberäkningar. Dessa har fått en ökad betydelse och används numera regelmässigt vid alla djupare eller på annat sätt mer komplicerade sponter. Den *Nya Sponthandboken* ersätter både *Sponthandboken* från 1996 och *Förankrade Sponter* från 1979.

Vidare har finita element (FE) analyser blivit ett vanligt beräkningshjälpmedel. Här har tidigare tydliga riktlinjer hur dimensioneringen skall gå till saknats. Även inom detta område innebär *Nya Sponthandboken* en tydlig vägvisare hur dimensioneringen

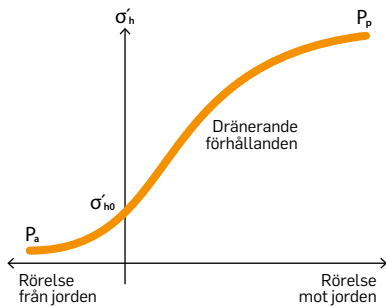
bör utföras.

En utmaning med *Nya Sponthandboken* har varit att hitta en konsensus mellan traditionell analytisk dimensionering och samverkansanalyser. För att inte äventyra säkerheten fokuseras därför på att tillräcklig säkerhet måste erhållas dels för förväntade påkänningar (bruksgräns) och dels vid en brottgränssituation initierad av kraftigt försämrade hållfasthet i jorden.

STÖDKONSTRUKTIONENS FUNKTION OCH BETEENDE

Det som primärt avses med stödskonstruktion i det här sammanhanget är en kon-

RESPONS BEROENDE PÅ RÖRELSERIKTNING



Figur 1: Jordtrycksrespons beroende på rörelse.

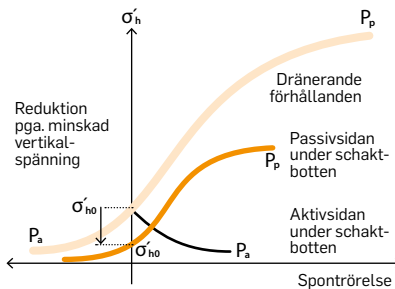
struktion som installeras genom drivning, borrhning eller lokal schakt följt av gjutning. Stödstrukturen möjliggör därefter schakt på ena sidan av konstruktionen. Vartefter schakt bedrivs kan stödstrukturen behöva kompletteras med någon form av stöttande system.

Exempelvis kan dessa stödstrukturer "sponter" nyttjas för att ta ut schakten för källaren. Här beror den lämpligaste metoden dels på geotekniken men också på geometrin. Är det relativt grunt till berg är det oftast lönsamt att installera sponten till berg och förankra den med bergstag. Är det däremot långt till berg så kompliceras arbetet med att den kan bli nödvändigt med stämp som försvårar uttaget av schakten.

Vid dimensionering av en stödstruktur krävs en helhetssyn. Konstruktionen är ett "kraftomfördelningssystem" eftersom den stöttar vissa delar av jorden samtidigt som den ökar påkänningen i andra delar av jorden. Stödstrukturen överför belastningarna från den del av jorden som behöver hjälp till andra delar av jorden som kan hjälpa till genom exempelvis spontväggen och dess eventuella kraftupptagande system (stag eller stämp). Hur denna kraftöverföring sker beror på typen av stödstruktur och dess kraftupptagande system, de initiala spänningarna i jorden och jordens hållfasthets- och styvhetsegenskaper, men påverkas även av hur och när stödstrukturen och det kraftupptagande systemet installeras. Dimensioneringen kräver en förståelse för spontväggens roll i den övergripande konstruktionen samt hur den samverkar med det kraftupptagande systemet och jorden.

Lasteffekten i stödstrukturen beror till stor del på hur stora rörelser som kan accepteras. Generellt krävs större rörelser för att utveckla passivt jordtryck jämfört med de rörelser som krävs för att utveckla aktivt jordtryck. I Figur 1 skissas detta för dränerat beteende. Till vänster visas hori-

RESPONS PÅ AKTIV- RESPEKTIVE PASSIV- SIDAN AV EN SPONT



sontaltrycksutvecklingen beroende på rörelseriktning och till höger responsen på ömse sidor om exempelvis en spontvägg.

KRAV AVSEENDE DIMENSIONERING

Traditionellt dimensioneras dessa stödstrukturer enligt principer beskrivna i *Sponthandboken* från 1996 och dess föregångare Förankrade sponter. Påkänningarna beräknas enligt ett koncept som bygger på Rankines jordtryck med fullt utvecklat aktivt jordtryck bakom stödstrukturen och passivt jordtryck på schaktsidan.

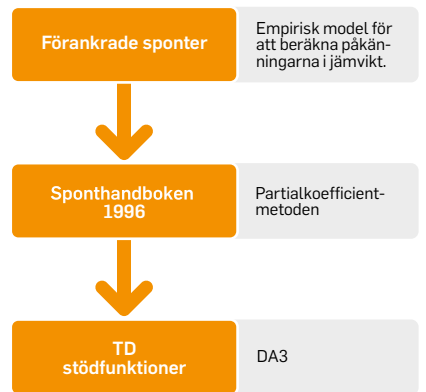
Allt fler projekt utförs till större djup än vad *Sponthandboken* från 1996 är ämnad för, även om den framgångsrikt nyttjats vid dimensioneringen av schakter till drygt 15 m¹, då stödstrukturen installerats till fast botten. För svävande stödstrukturer i lera² är motsvarande djup 8-10 m. Vidare ser vi oftare strängare krav avseende acceptabla deformationer i omgivande konstruktioner. För hantering av denna aspekt har finita element (FE) analyser blivit ett vanligt verktyg. Tyvärr saknas tydliga riktlinjer hur dimensioneringen skall gå till. I några fall ger *Sponthandboken* (1996) och FE-analyser liknande resultat men allt som ofta skiljer resultaten markant. Olika filosofier har cirkulerat angående hur geokonstruktionen bärförmåga skall säkerställas. Efter införandet av Eurokod har det tyvärr inte blivit tydligare då olika länder valt olika angreppssätt.

Grundtanken med *Nya Sponthandboken* är att understryka att sponter/stödstrukturer är samverkanskonstruktioner, vilket kan medföra att påkänningarna i bruksgräns ofta ligger i paritet med (eller till och med över) de påkänningar som erhålls i brottgräns. För att beakta detta "återinförs" kravet på att studera påkänningarna dels vid en förväntad deformation - "normala deformationer" - och dels efter att säkerheten applicerats på jordegenskaperna (DA3) - "stora deformationer". Vid analy-

FAKTARUTA PÅLKOMMISSIONEN

Pålkommisionen bedriver forskning, utveckling och utredningar inom pålgrundläggning och stödkonstruktioner. Huvuduppgiften är att bidra till utveckling inom dessa teknikområden genom att:

- prioritera, initiera och genomföra forsknings- och utvecklingsprojekt
 - följa upp och utvärdera forskningsresultat
 - sprida kunskap och erfarenhet vidare
- Kommisionen har till stor del bidragit till att ändamålsenliga och kostnadseffektiva pålade konstruktioner nu utförs med svensk pålningsteknik.
www.palkommissionen.org.



Figur 2: Historisk utveckling av dimensioneringspraxis.

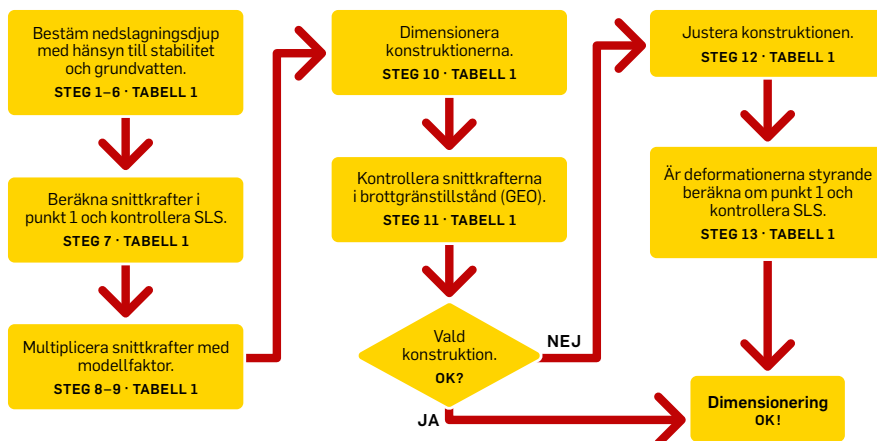
tisk dimensionering nyttjas den empiriska beräkningsmodell som presenterades redan i *Förankrade sponter* (1979) där förspänningen beaktas och en modellfaktor appliceras på lasteffekten.

Historiskt har stödstrukturer dimensionerats utifrån olika kuster (handböcker). Dessa handböcker har justerats/anpassats utifrån de olika kravdokumenten som gällt. Tyvärr har viss information och erfarenhet förlorats då nya regelverk införts vilket riskerar att konstruktionerna inte blir optimerade vare sig ekonomiskt eller säkerhetsmässigt.

Nya Sponthandboken har som mål att fånga upp erfarenheterna från nedanstående skrifter samt utgöra en bra grund för införandet av nästa generations Eurokod.

1. Södra Länken och Götatunneln

2. Bl.a. Götatunneln, men dessa djup i lös lera kräver extraordinära åtgärder i form av uv-schakt eller etappvis schakt och stöds inte direkt av *Sponthandboken* från 1996.



Figur 3: Rekommenderad dimensioneringsgång för stödkonstruktioner enligt Nya Sponthandboken.

STEG	AKTIVITET
1	Bestäm nedslagningsdjup med hänsyn till grundvattenströmning och risk för omgivningspåverkan.
2	Bestäm nedslagningsdjup med hänsyn till totalstabilitet.
3	Bestäm nedslagningsdjup för att uppnå rotationsstabilitet för jordtrycket mot sponten
4	Bestäm nedslagningsdjup med hänsyn till bottenuppträckning för spont med flera hammarbandnivåer.
5	För spont med lutande stag: kontrollera nedslagningsdjup för att uppnå vertikalstabilitet.
6	Välj det största nedslagningsdjupet enligt steg 1 – 5 för den fortsatta dimensioneringen.
7	Beräkna snittkrafterna i bruksstadiet (SLS) för det valda nedslagningsdjupet. Välj konstruktion, förspänningskraft etc. så att deformationskraven vid bruksgränstillståndet (SLS) uppfylls.
8	Bestäm modellfaktorn med hänsyn till säkerhetsklass, undersökningens kvalitet och typ av konstruktion.
9	Beräkna dimensionerande snittkrafter i brottgräns (STR) genom att multiplicera beräknade snittkrafter med modellfaktorn.
10	Dimensionera konstruktionsdetaljerna i brottgränstillståndet (STR) och för olycksfall (ankarbortfall vid förankrade sponter och stötlaster på stämp vid strävade konstruktioner).
11	Kontrollera att den valda konstruktionen klarar de snittkrafter som uppkommer i brottgränstillståndet (GEO): Rotationsstabilitet, totalstabilitet och vid bottenuppträckning för spont med flera hammarband.
12	Vid behov justeras konstruktionen för att klara snittkrafterna som uppkommer i brottgränstillståndet (GEO)
13	Är deformationerna vid SLS styrande beräkna deformationerna med den justerade konstruktionen i Bruksstadiet (SLS)

Tabell 1: Dimensioneringsgång för en stödkonstruktion steg för steg.

➤ Vidare behandlas hur FE-analyser kan nyttjas för att få en mer optimerad stödkonstruktion. Dels med avseende på tillräcklig säkerhet men också avseende ekonomi och omgivningspåverkan.

Med största sannolikhet kommer nästa generations Eurokod innehålla två dimensioneringsfilosofier som skall verifieras.

■ **Material factoring** - säkerhet på materialegenskaperna, samt

■ **Output factoring** - säkerhet på lasteffekt och bärförmåga

NYA SPONTHANDBOKEN

– EN KORTFATTAD BESKRIVNING.

Stödkonstruktioner är komplexa och behöver kontrolleras i ett flertal steg. Nya Sponthandboken innehåller en rekommenderad dimensioneringsgång för att erhålla en stödkonstruktion som uppfyller kraven

avseende säkerhet. Denna dimensioneringsgång framgår av Figur 3 tillsammans med Tabell 1.

Beräkningarna kan som tidigare nämnt utföras dels som analytiska beräkningar och som samverkansberäkningar, vilket beskrivs kortfattat nedan.

Analytiska beräkningar

Lasteffekten på en stödkonstruktion är beroende av deformationen som utbildats. Likaså ökar mobiliserad bärförmåga i konstruktionselementen med utvecklad deformation. Kraftjämvikt erhålls i punkt 1 vilken motsvarar såväl den förväntade deformationen som den förväntade lasteffekten i staget, se Figur 4. Den inledande reduktionen av lasteffekten från jorden skall symbolisera effekten av rörelser innan staget installeras och den vertikala delen av lasteffekten i staget beskriver schematiskt förspänningen av staget. En hög förspänning leder till att punkt 1 förskjuts åt vänster med konsekvensen mindre deformation men högre lasteffekt i staget.

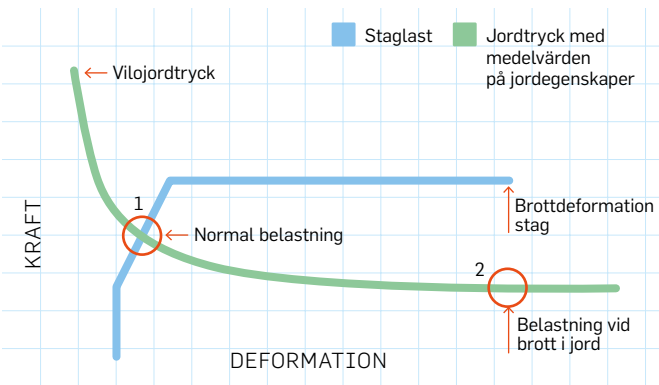
Beräkningarna av jordtrycken grundar sig generellt på gränsjordtryck enligt Rankine, även om det tydligt framgår i Figur 4 att i realiteten handlar det inte om något gränsjordtryck utan om jordens samverkan med ingående konstruktionselement. Övriga brottmekanismer som kan utbildas i jorden (GEO) såsom totalstabilitet, rotationsstabilitet och bottenuppträckning studeras inledningsvis med reducerade jordegenskaper och dimensionerande värden på laster. Detta görs för att exempelvis säkerställa tillräcklig underslagning. Vidare måste säkerheten avseende hydraulisk bottenuppträckning och hydrauliskt grundbrott säkerställas.

Brottrgräns - Normala deformationer, pkt 1

För att uppskatta lasteffekten (STR) mot sponter och därmed snittkrafterna i bruksstadiet, punkt 1, jfr Figur 4, kan en empirisk metod beskriven i Förankrade sponter användas som bygger på mätningar mot sponter nyttjas. Bl.a. skall effekten av förspänning av stag beaktas. För att erhålla rätt säkerhetsnivå multipliceras slutligen erhållna påkänningar med en modellfaktor enligt Tabell 2, där γ_d beror av aktuell säkerhetsklass.

Brottrgräns - Stora deformationer, pkt 2

Lasteffekten (STR) i pkt 2 baseras på en beräkning av jordtrycket mot sponten på basis av reducerade hållfasthetsegenskaper i jorden samt dimensionerande värden på yttre laster, jfr Figur 5. I denna beräkning saknar deformationerna relevans.



Figur 4: Schematiskt kraft-deformations samband för en stödkonstruktion.

Bruksgräns

Lasteffekten (STR) i bruksgräns erhålls i pkt 1, jfr Figur 5. För att bedöma deformationer hänvisas till empiriska diagram. I de fall deformationskraven blir styrande för stödkonstruktionen krävs styvare konstruktioner/högre förspänningar vilket flyttar pkt 1 åt vänster utefter den gröna kurvan.

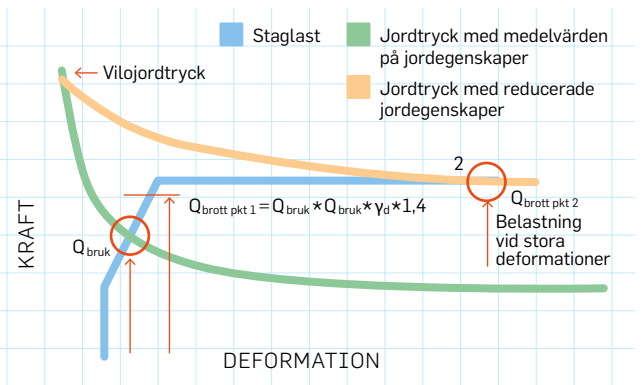
SAMVERKANSBERÄKNINGAR

Vid samverkansberäkningar beaktas spänningstöjnings sambandet i jorden men även stödkonstruktionens styvhet. För att beskriva samverkan i detalj krävs komplexa materialmodeller, men även relativt enkla modeller kan nyttjas. Oavsett valet av materialmodell/samverkansmodell krävs eftertanke av konstruktören. *Nya Spont-*

handboken ställer krav på verifikation av den valda materialmodellen och på redovisningen. Bl.a. skall redovisning av materialmodellens förmåga att modellera relevanta laborieförsök redovisas. Krav ställs även på redovisning av bl.a. beräknade deformationer samt resulterande jordtryck mot stödkonstruktion. Även samverkansberäkningar skall utföras för pkt 1 och pkt 2 (jfr Figur 5). En beräkningsprocedur enligt Tabell 3 (på nästa sida) rekommenderas, jfr även efterföljande avsnitt om brottgräns och bruksgräns.

Brottgräns - Normala deformationer, pkt 1

Den beräknade lasteffekten skall multipliceras med modellfaktorerna i Tabell 2 varefter STR-dimensioneringen utförs. Detta



Figur 5: Kraft-deformations samband för en stödkonstruktion med applicerad säkerhet. $Q_{dim} = \max(Q_{brott\ pkt\ 1}, Q_{brott\ pkt\ 2})$

	MODELLFAKTOR
Konstruktionselement som är veka, t.ex. spont, hammarband och stag.	$\gamma_d \cdot 1,4$
Konstruktionselement som är styva t.ex. stämp.	$\gamma_d \cdot 1,5$
I de fall då belastningen i stort endast består av last från fritt vatten (inte grundvatten).	$\gamma_d \cdot 1,2$

Tabell 2: Modellfaktorer för erhållna påkänningar i pkt 1.

kommenteras längre fram i denna text. där analytiska metoder jämförs med resultaten från samverkansberäkningar.

» Brottgräns - Stora deformationer, pkt 2

Här reduceras jordens hållfasthet till dimensionerande värden. Beräkningen skall göras med respektive utan variabla laster. Den tillkommande lasteffekten på konstruktionselementen p.g.a. den variabla lasten skalas upp med $\gamma_d \cdot 1,4$.

Bruksgräns

Lasteffekten (STR) i bruksgräns beräknas i pkt 1, jfr Figur 4, varvid variabla laster skall inkluderas.

Detaljutförande av konstruktionselement mht STR

Nya Sponthandboken innehåller detaljerade anvisningar rörande vilka kontroller som skall göras och ansluter till övriga gällande utförandestandarder och Eurokoder.

VAL AV ANALYSMETOD

För val av beräkningsmetod ges följande rekommendationer:

- För enklare sponter och utan krav på speciella begränsningar av markrörelserna bakom sponten kan analytiska jämviktsberäkningar användas.
- För mer komplexa sponter eller där det finns speciella begränsningar av markrörelser rekommenderas att samverkansberäkningar används.

Med komplexa sponter menas i detta sammanhang att spontkonstruktion och jordförhållanden är mindre vanliga, vilket medför att erfarenhet saknas eller är begränsad. I handboken ges några exempel när analytiska beräkningar inte är att betrakta som tillförlitliga.

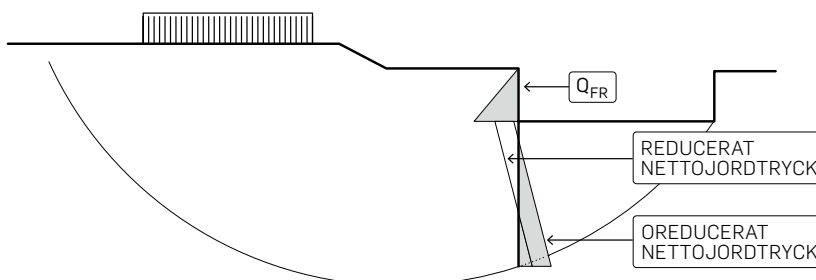
SKILLNADER MELLAN ANALYSMETODER

Traditionella beräkningsmetoder baseras på en relativt förenklad konceptuell modell (Rankines jordtryck). Traditionenligt har vi applicerat säkerhetsfaktorer med en viss storlek på jordens hållfasthet. Dessa säkerhetsfaktorer har kalibrerats så att vi känner oss trygga med stödkonstruktionernas verkningssätt. Så vitt känt har det inträffat väldigt få kollaps och dessutom i enbart några enstaka fall har rörelserna blivit oroväckande stora. Det är dock mycket svårt att bedöma vad detta innebär i termer av brottsannolikhet.

Med mer detaljerade och omfattande beräkningar, exempelvis i form av FE-analyser, minskar vi osäkerheten. FE-analyser resulterar dock sällan i ett gränsjordtryck enligt Rankine, d.v.s. det **rosa** tryck som ligger till grund för våra traditionella beräkningsmetoder. Dessutom är en stödskonstruktion ett i allra högsta grad ett olinjärt

SKEDE	Beräkningar i punkt 1 med värderade medelvärden på jordens egenskaper		Beräkningar i punkt 2 med dimensionerande värden på jordens egenskaper	
	UTAN variabel last	MED variabel last	UTAN variabel last	MED variabel last
Schakt till hammarbandsnivå 1	X	X	X	X
Förspänning av stagnivå 1	X			
Avsänkning av grundvatten inom spont	X			
Schakt till hammarbandsnivå 2	X	X	X	X
Förspänning av stagnivå 2	X			
Schakt till fullt djup	X	X	X	X

Tabell 3: Flödesschema vid genomförande av samverkansberäkningar.



Figur 6: Exempel på justerad lasteffekt på stödkonstruktionen p.g.a. bristande totalstabilitet.

system. Detta leder till att de olika analysmetoderna ger olika svar. Exempelvis tenderar FE-analyser kräva kraftigare och djupare konstruktioner än analytiska beräkningar vid djupa lerlager, medan det ofta är tvärtom vid friktionsjordar om relativt stora deformationer kan tillåtas.

Här har det i *Nya Sponthandboken* identifierats några tydliga områden för att erhålla så liknande resultat som möjligt mellan metoderna. Exempelvis:

- Lokala överlastar får ej längre beaktas med elasticitetsteoretiska lastspredningsmodeller, typ Boussinesq, i pkt 2.
- Den analytiskt framräknade lasteffekten mot stödkonstruktionen skall korrigeras i de fall totalstabiliteten kräver djupare nedslagning än vad den traditionella jämviktsbetraktelsen kräver, Figur 6.

Utöver detta har särskilda korrektionsfaktorer på lasteffekten från samverkansberäk-

ningarna införts för att nyttja / motivera exempelvis övervakning av konstruktionens beteende.

SLUTSATSER

Nya Sponthandboken kräver flera och delvis andra beräkningar jämfört med tidigare handböcker. Detta är dock nödvändigt för att vi skall erhålla en rimlig säkerhetsnivå eftersom pkt 1, jfr Figur 4 och Figur 5, ofta blir dimensionerande. Detta gäller framförallt för flertalet stämpade konstruktioner och/eller om höga förspänningar nyttjas. ■



ANDERS KULLINGSJÖ
Skanska Sverige AB