

Wilhelm Rankka
Sven Liedberg
David Rudebeck
Björn Dehlbom



SÄKER UPPSTÄLLNING AV TUNGA ANLÄGGNINGS MASKINER

SÄKER UPPSTÄLLNING AV TUNGA ANLÄGGNINGSMASKINER

WILHELM RANKKA, SVEN LIEDBERG, DAVID RUDEBECK, BJÖRN DEHLBOM

Förlag och distribution
AB Svensk Byggtjänst
113 87 Stockholm
www.byggtjanst.se

© 2022 AB Svensk Byggtjänst och författarna
Grafisk form: Petra Fagerlind
Foto omslag (t.v.): Clas Ericsson, Nordic crane
e-ISBN 978-91-7917-118-6

Förord

När en pålkran, KC-pelarmaskin, mobilkran eller annan tung anläggningsmaskin ska ställas upp på en markyta för arbete måste det vara utrett att marken under maskinen kan bära de laster som kan uppkomma. Maskinens olika delar och tyngder behöver vara beskrivna av maskinleverantör och den som anpassat maskinen för det aktuella arbetet. Beroende på hur väl kända förutsättningarna för uppställningen är behöver mer eller mindre omfattande geotekniska utredningar, markförstärkningar, beräkningar och kontroller genomföras. Flera teknikområden, aktörer och specialister är berörda varför ansvarsfördelningen måste vara tydlig.

Marken under maskinerna blir ofta mer belastad under främre delen av den över chassit vridbara delen (pålkransens basmaskin eller mobilkransens kranhorn) på grund av exempelvis långa utlägg i den riktningen (för mobilkransar) eller tyngd av mast, hejare och påle i den delen (för pålkransar). Belastningen från maskinen kan leda till sättningar med vältning som följd. En vältning av en tung anläggningsmaskin leder ofta till omfattande materiella skadorna på såväl maskiner som på omgivning. I värsta fall kan även människor omkomma eller skadas.

För att minimera risken för olyckor med tunga anläggningsmaskiner verkar branschorganisationer som Svensk Grundläggning och Svenska Mobilkranföreningen för god utbildning och information till maskinister och andra aktörer. Genom den här skriften vill vi bidra till denna verksamhet. Syftet med skriften är att ge en sammanhängande beskrivning av hela processen med att åstadkomma en säker arbetsmiljö för uppställning av tunga anläggningsmaskiner, från upphandling av entreprenör till dimensionering av arbetsplattform. Skriften är i huvudsak en sammanställning av föreskrifter och rekommendationer. Metoder för beräkning av lastspridning från maskin till markyta samt bärighet i arbetsplattform och undergrund har i samband med framtagandet av skriften gått igenom och utvärderats.

Skriften har tagits fram av Wilhelm Rankka, David Rudebeck, Björn Dehlbom och Helene Kennedy från Statens geotekniska institut. Framtagandet har gjorts i samarbete med Sven Liedberg, Fredrik Dahlgren, David Ekstrand (bilagor) och Sofia Hasselberg (bilagor) från Skanska Teknik och en referensgrupp bestående av representanter från Trafikverket (Jonas Axelsson), Svensk Grundläggning (Leena Haabma), Hercules Grundläggning (Peter Alheid), GeoMind (Håkan Eriksson), PEAB (Anton Gunnebrink), Keller (Carl Jonsson), Cowi (Viktor Nyman), Junttan (Ilkka Nikkilä), Kynningsrud Nordic Crane (Clas Ericsson), Sweco (Ulf Ryberg), Skanska (Patrik Andersson), NCC (Lars Hall), Tyréns (Mats Karlsson) och Pålab (Christian Nilverius). Även andra än nämnda representanter har bidragit. Ett underlag till skriften har tagits fram genom ett FOI-projekt genomfört av SGI på uppdrag av Trafikverket.

Arbetet har finansierats av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF), SGI och de medverkande organisationerna. FOI-projektet har finansierats av Trafikverket och SGI.

Wilhelm Rankka
Uppdragsledare

Helene Kennedy
Granskare

Innehåll

1	Inledning	7
2	Exempel på risker med olika maskiner, arbeten och markförhållanden	9
3	Styrande och vägledande dokument	17
3.1	Lagar, förordningar och föreskrifter	17
3.2	Krav och riktlinjer för arbetsplattformar	18
3.3	Krav och vägledning för arbetsmiljöarbete	18
3.4	Kontraktsdokument	19
3.5	Handböcker	19
4	Förutsättningar för god arbetsmiljö vid maskinuppställning	21
4.1	Arbetsmiljöarbete före byggstart	22
4.2	Arbetsmiljöarbete under utförande	26
5	Geotekniska förutsättningar	31
5.1	Inledning	31
5.2	Geotekniska förutsättningar inom den översta delen av jordlagerprofilen	32
5.3	Geotekniska fält- och laboratorieundersökningar	34
5.4	Rekommendationer	36
6	Beräkningar	39
6.1	Inledning	39
6.2	Last från maskin	41
6.3	Lastfördelande konstruktionselement	44
6.4	Jordens vertikala bärförmåga	44
6.5	Numerisk analys	54
6.6	Armering	54
7	Provbelastning	55

8	Tillhandahållande av arbetsplattform	57
8.1	Utformning	57
8.2	Utförande	60
8.3	Kontroll och underhåll	60
9	Dimensionering	63
9.1	Standarder	63
9.2	Geoteknisk kategori och säkerhetsklass	64
9.3	Dimensioneringskrav	65
9.4	Val av karakteristiska värden på egenskaper	65
	Referenser	67
	Bilaga 1	
	Beräkningsexempel, dimensionering uppställning pålkran i brottgräns (ULS)	71
	Bilaga 2	
	Exempel entreprenadteknisk specifikation, pålkransuppställning	76
	Bilaga 3	
	Beräkningsexempel, dimensionering uppställning mobilkran i brottgräns (ULS)	79
	Bilaga 4	
	Exempel entreprenadteknisk specifikation, mobilkransuppställning	85
	Bilaga 5	
	Exempel – Checklista inför produktionsstart Uppställning av tung maskin	91

1 Inledning

Enligt statistik från Arbetsmiljöverket var byggverksamhet, transport och magasinering samt jordbruk, skogsbruk och fiske de tre näringsgrenar i Sverige som hade flest arbetsplatsolyckor med dödlig utgång under perioden 2010 till 2019. Under perioden har det i genomsnitt förekommit nio dödsolyckor per år inom näringsgrenen byggverksamhet.

Vid en jämförelse med andra industriverksamheter ligger byggbranschen högt i skadestatistiken, enligt Arbetsmiljöverket. I byggbranschen råder ofta tidspress som leder till stress på individnivå som ökar olycksrisken. Även på verksamhets- och projektnivå kan tidsaspekten påverka risknivån.

För att tillgodose säkerheten vid arbete med tunga anläggningsmaskiner krävs kompetens, riskmedvetenhet och tydlig ansvarsfördelning. En olämpligt utformad eller utförd arbetsplattform kan leda till vältningsolyckor med olycks- eller dödsfall som följd.

Syftet med skriften är skapa en branschpraxis för utformning, utförande och kontroll av arbetsplattformar för den typ av tunga anläggningsmaskiner som används för större lyft, för pålning eller för installation av KC-pelare och som överför sin last till undergrunden via larver eller plattor. Exempel på berörda maskintyper är pålkranar, mobilkranar och KC-pelarmaskiner. Med arbetsplattformar avses underlag på en arbetsplats, anlagda för maskinernas förflyttning och uppställning under arbete. De arbetsplattformar som behandlas i skriften anläggs på en terrass (av naturligt lagrad jord eller berg) och utgörs av fyllning av jord, armering av jord och/eller lastfördelande konstruktionselement. I en del fall räcker inte denna typ av arbetsplattformar till för att klara de laster som maskinen ger upphov till, inte ens genom att utöka fyllningens mäktighet. Arbetsplattformar förstärkta på andra sätt, exempelvis pålade arbetsplattformar, kan då krävas. Pålade arbetsplattformar och liknande berörs inte i denna skrift.

Främst berörs bärighetsbrott och sättning i arbetsplattform som påverkar maskinens stabilitet. Maskinen, arbetsplattformen och arbetet med maskinen kan också leda till annan påverkan i omgivande jord som kan påverka exempelvis stabiliteten i närliggande slänter eller schakter. Hur hänsyn bör tas sådan omgivningspåverkan berörs inte specifikt.

Syftet med skriften är också att den ska bidra till en förenkling av kravställande, projektering och kontroll av arbetsplattformar. Denna förenkling är en viktig del i att göra säkerhetsfrågan avseende erforderliga åtgärder för arbetsplattformar kostnads- och konkurrensneutral inom branschen.

Vi ser alla aktörer som har ansvar för och/eller arbetar med utformning, utförande och användande av arbetsplattformar för berörda maskiner som målgrupper för skriften. Nedan följer en läsanvisning som vi hoppas ska göra det lättare för olika målgrupper att hitta relevanta delar i skriften.

Beskrivningar av åtgärder som ges i skriften, exempelvis av utformning av en arbetsplattform, utgör inte projektunderlag utan ska ses som en information som syftar till att ge ökad förståelse för åtgärden. Metoder för beräkning av bärighet i arbetsplattform och undergrund har i samband med framtagandet av skriften gått igenom och utvärderats. Anvisningar i skriften förutsätter tillämpning av Eurokoder.

Referensgruppen har bidragit med de fotografier som anges utan referens.

2 Risker med uppställning av tunga anläggningsmaskiner

Olyckor med vältnande tunga anläggningsmaskiner leder ofta till omfattande materiella skador på såväl maskiner som på omgivning. En vältnad maskin leder i princip undantagslöst till ekonomiska konsekvenser. En vältnad maskin kan innebära en svår chock för maskinföraren och annan berörd personal, även om konsekvenserna i övrigt blir små. I värsta fall kan människor omkomma eller skadas.

Vidare är det inte ovanligt att en vältnad maskin också leder till påverkan på miljön, exempelvis av att hydraulolja läcker ut i naturen.

Långt ifrån alla tillbud och olyckor rapporteras. När det gäller pålkranar har, enligt en uppskattning av referensgruppen, vältningar inträffat i storleksordningen två gånger per år under de senaste 10 åren. I de fall då konsekvenserna varit små har antagligen rapporteringsviljan varit liten och man kan anta att mörkertalet är stort, åtminstone när det gäller grävmaskiner, betongpumpar och andra maskiner där konsekvenserna troligen oftast varit mindre än då en pålkran har vältnat.

Nedan ges exempel på kritiska arbetsmoment, avvikelser i undergrund och avvikelser i arbetsplattform och vilka konsekvenser de kan leda till.



Figur 2:1 Jorden utgjordes av lera och arbetsplattformen av en fyllning på ca 0,4–0,5 m med stockmattor. Maskinen stod för nära kanten av stockmattorna. I anslutning till arbetsplattformen hade man tagit ett antal lerproppar med augerborr innan pålningen utfördes.

Figur 2:2 Ett stabilitetsbrott i extremt lös lera inträffade i naturligt lagrad jord intill en långsträckt schakt. Det upptäcktes att underlaget var sämre än förväntat men arbetet fortsatte.



Tabell 2:1. Exempel på kritiska arbetsmoment.

Arbetsmoment med en kran stående nära kanten av en arbetsplattform eller ett lastfördelande konstruktionselement. Figur 2:1 visar exempel på detta.

Arbetsmoment med chassit roterat till kritisk vinkel (för pålkrantar ofta mellan 20 och 30 grader från larvernas riktning).

Indragning av en påle från långt avstånd med hejaren högt hissa.

Långt utskjut av mastfoten i kombination med indragning av en pål.

Förflyttning och rotation av kran med tunga delar högt upp (hejare och indragen påle). Figur 2:3 visar exempel på detta.

Förflyttning av kran nedför ramp med rest mast.

Förflyttning av kran på ojämnt underlag så att självförstärkande gungning av kranen uppstår.

Stress för personal som leder till förhastade beslut. Situationen som visas i Figur 2:2 kan vara ett exempel på detta.

"Lågt i tak": När operatör inte känner sig bekväm med att rapportera exempelvis problem med att inte hinna eller klara av arbetsmoment inom utsatt tid.



Figur 2:3 Tippningen inträffade enligt uppgift under en snabb rotation med för långt utligg med hejare och påle. Troligen var rotationen tillräckligt snabb för att ge upphov till så stora tröghetskrafter i utligget att tippningen uppkom. Arbetsplattformen bedöms ha varit tillräcklig.



Figur 2:4 Schakt och återfyllning hade utförts efter arbetstidens slut i det område där KC-pelarmaskinen arbetade. Återställning och packning av området hade inte genomförts på ett korrekt sätt. Man hade inte hunnit med att göra det.

Tabell 2:2. Exempel på avvikelser i undergrund som kan leda till vältning.

Jordens egenskaper är sämre än de som tolkats från den geotekniska undersökningen i den Marktekniska undersökningsrapporten, MUR/ Geoteknik.

Torrskorpan är lokalt tunnare än vad som antagits.

Förekomst av ej avbanad organisk jord (mull, torv eller gyttja).

Undergrund av siltig jord har luckrats upp av nederbörd och/eller av transporter innan eller i samband med utläggning av arbetsplattformen.

Felaktigt återfyllda och packade schakter. Exempel på detta visas i Figur 2:4 och Figur 2:5.

Oförutsedda gamla lokala fyllningar med låg bärförmåga.



Figur 2:5 (Ovan t.v.) Bärighetsbrott under larv, eventuellt på grund av att man tidigare utfört en provgrop i detta läge som inte återfyllts och packats korrekt. Hög tyngdpunkt av påle och hejare.



Figur 2:6 (Ovan t.h.) Den naturligt lagrade jorden utgjordes av lera med mycket låg odränerad skjuvhållfasthet och hög sensitivitet nära markytan. Leran var eventuellt överlagrad av torrskorpelera. En arbetsplattform var projekterad att utgöras av stockmattor lagda vinkelrätt larver på ett 0,9 m mäktigt krosslager. Mastens position, innan eller i samband med nedsjunkningen, låg snett utanför framkant av den ena larven vilket gav en koncentrerad markbelastning.

Tabell 2:3. Exempel på avvikelser i en arbetsplattform som kan leda till vältnig.

Ingående fyllningsmaterial uppfyller inte ställda krav.

Mäktigheten är inte tillräcklig.

Arbetsplattformens fyllning har inte packats på korrekt sätt.

Arbetsplattformens lutning är för stor.

Utbredningen av plattformen är för liten i plan så att maskiner riskerar att hamna för nära kanten av arbetsplattformen.

Vatten står högt i plattformen på grund av otillräcklig dränering.

Artesiska grundvattentryck har sänkt jordens hållfasthet och därmed dess bärförmåga.

Undermåliga/bristfälliga stockmattor, för glest utlagda stockmattor eller stockmattor i fel riktning. I Figur 2:6 ges exempel på detta.

För klena dimensionerade eller skadade balkrost (förtillverkade lastfördelande plattor).

Nedan visas ytterligare några exempel på vältningar.



Figur 2:7 (Ovan t.h. och t.v.) Kranen välte ut på allmän väg och kunde ha skadat både tredje man och egna arbetare. Det är viktigt att ha ett ordentligt säkerhetsavstånd eller att ha flaggvakt, avstängningar eller andra skyddsanordningar där inte säkerhetsavståndet kan hållas.

Figur 2:8 Enligt uppgift användes pålkranen till att lyfta utrustning på ett felaktigt vis, vilket medförde tyngdpunktsförskjutning som resulterade i vältningen.

Figur 2:9 (t.v.) Orsak till vältningen är inte känd. Arbetsplattformen kan ha varit otillräcklig och/eller en indragning av en påle kan ha lett till stora horisontella krafter och ett för stort tippande moment.

Figur 2:10 (t.h.) Undergrunden utgjordes av lera med en torrskorpa. Stockmattorna låg glest utlagda. Vid rotation av maskin med hejare och påle i maskinen så fick larven inte något stöd av grävmaskinsmattorna, då de var glest utlagda, med påföljd att tyngdpunkten förflyttades och kranen välte.



Otillräcklig bärighet för en maskin kan i princip uppkomma i alla jordar om lasten är tillräckligt stor i förhållande till jordens bärförmåga. De förhållanden vi går igenom i Tabell 2:4 ska således bara ses som exempel. Utöver jordens ursprungliga bärförmåga så behöver även hänsyn tas till på vilket sätt arbetena på plats påverkar jordens egenskaper. Exempelvis kan en del hårda markytor av silt snabbt luckras upp då maskiner kör på dem.

Tabell 2:4. Exempel på markförhållanden som kan innebära risk för otillräcklig bärförmåga.

Lera med låg skjuvhållfasthet ("lös lera")	Lera med låg skjuvhållfasthet har låg bärförmåga. För transport och uppställning av maskiner på lera med låg skjuvhållfasthet krävs oftast en väl tilltagen arbetsplattform. Ökad mäktighet på arbetsplattform medför ökad last på leran vilket medför en övre gräns på tjocklek.
Otillräcklig torrskorpa	Det är ofta bra att låta torrskorpa vara kvar men det är viktigt att man tar hänsyn till variationen i mäktighet inom arbetsområdet så att den inte lokalt visar sig vara för liten.
Gyttja och andra organiska jordar	Ofta har organiska jordlager som gyttja en låg bärförmåga och en hög kompressibilitet (de har litet motstånd mot att tryckas ihop).
Siltiga jordar	Markytor av siltiga jordar kan vara förrädiska då de i torrt tillstånd kan vara mycket fasta. Vid bearbetning, till exempel om maskiner larvar fram över ytan eller vid nederbörd, kan dock den fasta silten övergå till en vätskeliknande massa som har mycket låg bärförmåga.
Hög grundvattenyta	En friktionsjord med högt belägen grundvattenyta (exempelvis i en schakt) kan ha låg bärförmåga.
Närhet till schakter eller slänter	Ju närmare en schakt eller slänt man kommer desto lägre blir bärförmågan jämfört med övriga delar av en markyta (som i övrigt är likartad).
Återfyllningar i samband med aktuellt byggprojekt	På en byggarbetsplats utförs ofta tillfälliga schakter som återfylls. En schakt innebär att jordmassor tas bort, jordmassor som har bidragit till hållfasthet i intilliggande markyta (genom deras bidrag till effektivspänningsnivån i jorden). Att återställa denna hållfasthet liksom att packa återfyllningen fullgott kan ibland vara svårt (och kan ha utförts bristfälligt). Detta kan innebära risk för otillräcklig bärighet i markytan intill och på återfyllda schakter.

Kant hos arbetsplattform med fyllning	I kanten av en arbetsplattform med fyllning av friktionsjord är bärigheten vanligtvis lägre än i övriga delar på grund av att det inte gått att packa fyllningen lika bra där som längre in. Utanför kanten finns ingen mothållande jord vilket nedsätter bärigheten ytterligare.
Gamla fyllningar	Det är ofta svårt att bestämma bärighet i tidigare utförda fyllningar. Variationen i bärighet är också vanligen större i gamla fyllningar än i naturligt lagrad jord. Fyllningens bärighet påverkas också negativt av högt belägen grundvattennivå.
Lättfyllning	Empirin som byggts upp kring bärighet och allmänna bärighetsekvationen är inte avsedd för lättfyllning och där bör man vara försiktig. I ett sådant fall är provbelastning lämplig för att kontrollera om tänkt lösning fungerar.
Gamla fundament	När en maskin körs över ett tidigare utfört fundament som gränsar till en lös (sättningsbenägen) jord så kan en stor sättningsvariation uppkomma mellan den del av maskinen/larven som bärs av fundamentet och den del av maskinen/larven som bärs av jorden. Denna variation kan leda till att maskinen börjar luta för mycket och välter.

Förutom att arbetsplattform och undergrund påverkas av kontaktryck under larver eller plattor så innebär flera arbetsmoment att jorden intill en tung anläggningsmaskin kan förändras av vibrationer (exempelvis under slagning av pålar), massundanträngning (under slagning av pålar), uppluckring (under installation av KC-pelare) eller borttagning av jord (upptagning av lera för pålning). Effekten av denna påverkan är vanligen lokal kring pålen eller KC-pelaren men kan innebära att speciell arbetsordning behövs.

3 Styrande och vägledande dokument

3.1 Lagar, förordningar och föreskrifter

Sveriges **lagar** beslutas av riksdagen och utgör grunden i svensk lagstiftning. Lagen kan innehålla bestämmelser om att regeringen eller den myndighet som regeringen bestämmer får meddela föreskrifter. Sveriges **förordningar** beslutas av regeringen. Vissa slags bestämmelser behöver inte regleras i lag, utan det räcker att de regleras på förordningsnivå. Men det är vanligt att förordningar förtydligar och preciserar det som står i lagarna. Det är inte alltid som det räcker med den styrning som finns i lagar och förordningar utan det kan behövas ännu mer detaljerade regler. I så fall kan **föreskrifter** författas av myndigheter. Lagar, förordningar och föreskrifter är tvingande.

I **arbetsmiljölagen** finns regler om skyldigheter för arbetsgivare och andra skyddsansvariga om att förebygga ohälsa och olycksfall i arbetet. Där finns också regler om samverkan mellan arbetsgivare och arbetstagare. Bestämmelser om alla arbetsgivares särskilda ansvar för att undersöka, riskbedöma, genomföra och följa upp verksamheten från arbetsmiljösynpunkt finns i arbetsmiljöverkets föreskrifter **om systematiskt arbetsmiljöarbete** (AFS 2001:1). Arbetsmiljöverket har författat **föreskrifter om byggnads- och anläggningsarbete** (AFS 1999:3). Arbetsmiljöverket har också gett ut **föreskrifter om användning av lyftanordningar och lyftredskap** (AFS 2006:6). Det finns ytterligare föreskrifter från Arbetsmiljöverket som kan behöva beaktas för uppställning av berörda maskiner, se Kapitel 3.3 Krav och vägledning för arbetsmiljöarbete.

I **plan- och bygglagen** finns bestämmelser om byggande. I tillägg till plan- och bygglagen finns regler om byggande i förordningar och föreskrifter från Boverket och Transportstyrelsen. Boverket och Transportstyrelsen har författat **föreskrifter för tillämpning av eurokoder (nationella val)**. De krav som beskrivs i denna skrift gäller för projekt där eurokoder tillämpas.

3.2 Krav och riktlinjer för arbetsplattformar

Med arbetsplattformar avses i denna skrift underlag på en arbetsplats, anlagda för maskinernas förflyttning och uppställning under arbete. De arbetsplattformar som behandlas i skriften anläggs på en terrass (av naturligt lagrad jord eller berg) och utgörs av fyllning av jord (vanligen av packad bergkross), armering av jord och/eller lastfördelande konstruktionselement.

AMA (AMA Anläggning 20) är ett referensverk för framtagande av beskrivningar och utförande av anläggningsarbeten. I AMA finns krav gällande terrasser, fyllningar och geosynteter. I IEG Rapport 7:2008 anges hur krav från SS-EN 1997-1 bör tillämpas för terrasser och fyllningar. Trafikverket har anpassat och kompletterat AMA:s krav för vägar och järnvägar. Anpassningen gällande terrasser och fyllningar (och andra geokonstruktioner) finns i Trafikverkets tekniska krav för geokonstruktioner (TK Geo 13). Trafikverkets tekniska krav omfattar även krav gällande jordarmering.

Med lastfördelande konstruktionselement avses här konstruerade plattor. Plattorna kan vara konstruerade av skivor (exempelvis plåt eller cellplast) och balkar (exempelvis av stål eller trä (exempelvis stockmattor)). Krav på konstruktioner finns i eurokoder (exempelvis SS-EN 1995-1-1 för dimensionering av träkonstruktioner (och SS-EN 1993 för dimensionering av stålkonstruktioner). Krav på användning av plattor som geokonstruktioner finns i SS-EN 1997-1. I IEG Rapport 7:2008 anges hur kraven på plattor i SS-EN 1997-1 bör tillämpas.

Svensk grundläggning har tagit fram riktlinjer för projektering, utförande och underhåll av en arbetsplattform vid uppställning och arbete med larvburna maskiner. Riktlinjerna kallas **Säker Arbetsplattform – Riktlinjer** och finns på Svensk grundläggnings hemsida (för närvarande).

3.3 Krav och vägledningar för arbetsmiljöarbete

I boken **Arbetsmiljöregler**, från Sveriges byggindustrier, finns en sammanställning av de arbetsmiljöregler som gäller för bygg- och anläggningsverksamheten. Här finns utdrag ur arbetsmiljölagen, förordningar, föreskrifter och allmänna råd (bland annat Arbetsmiljöverkets föreskrifter om byggnads- och anläggningsarbete). Vägledningar för arbetsmiljöarbete finns också på **Arbetsmiljöverkets hemsida**. Där beskrivs bland annat ansvarsfördelningen

mellan byggherre, projektör och utförare och där finns skriften **Säkra maskiner- om regler för maskiner**.

Mobilkranföreningen har tagit fram vägledningar för kranjänster (se mobilkranforeningen.se). Exempelvis finns (för närvarande) vägledningen **Säkert kranarbete** som syftar till att underlätta för beställare av kranjänster att göra en tydlig förfrågan anpassad för branschens förutsättningar. I vägledningen anges bland annat vilka kompetenskrav som ställs på kranförare, att varje arbetsplats är unik, att beställaren ska veta vilka förutsättningar som gäller på platsen och att kranföretaget ska veta vilka förutsättningar som behövs för kranen.

Svensk Grundläggning har tagit fram vägledningar för grundläggningsarbeten (se svenskgrundlaggning.se). Exempelvis finns (för närvarande) **Säker Arbetsplattform – riktlinjer** och vägledningen **Säker Grund** som bland annat omfattar krav på arbetsmiljö, säkerhetsavstånd och kompetens hos operatörer (maskinister).

3.4 Kontraktsdokument

Fördelning av ansvar för uppställningar av berörda maskiner, mellan parterna i ett byggprojekt, anges normalt i kontraktet mellan parterna. Som grund för avtalen gäller i allmänhet allmänna bestämmelser för avtal, som **AB**, **ABT** och **ABK** och eventuella tilläggsbestämmelser till dessa.

För arbeten med pålning och spontning har Pålentreprenörföreningen och Sveriges Byggindustrier tagit fram tilläggsbestämmelserna **PEFLEV 07**.

För avtal om hyra av mobilkranar har Mobilkranföreningen tagit fram allmänna hyresbestämmelser för kranar, **AHK 18**, där beställaren ges ansvaret för att tillräcklig bärighet finns på uppställningsplatser.

3.5 Handböcker

För val av och genomförande av geotekniska undersökningar i samband med projektering av en arbetsplattform kan Geoteknisk Fälthandbok (SGF, 2013) och flera andra av SGF:s och SGI:s skrifter om geotekniska undersökningar i fält och på laboratorium vara användbara.

I IEG Rapport 7:2008 ges en vägledning om dimensionering av plattgrundlagda konstruktioner vilken delvis kan vara tillämplig för dimensionering av en arbetsplattform.

I Plattgrundläggning (Bergdahl et al, 1993) beskrivs metoder för beräkning av jords bärförmåga och av sättningar i jord, spänningar och egenskaper i packad fyllning samt krav och råd om material för och utförande av packad jordfyllning.

Packning (Forsssblad, 2000) är en handbok om packning av jord- och bergmaterial. I Packning beskrivs jordpackningsteknikens grunder samt praktiskt genomförande och kontroll av packning.

Working platforms for tracked plant (BRE, 2004) är en handbok som syftar till att underlätta utformning, specifikation, installation, drift, underhåll och reparation av arbetsplattformar.

Working platforms (TWf, 2019) är en handbok med råd om utformning och dimensionering av arbetsplattformar. I TWf (2019) granskas bland andra den beräkningsmetod som presenteras i BRE (2004).

Guide to Working Platforms (EFFC/DFI, 2020) är en genomgång av handböcker från grundläggningsentreprenörer i Storbritannien, USA, Sverige och fjorton andra länder som syftar till att få fram säkra och effektiva arbetsplattformar.

För besiktning av terrass och fyllning kan utöver de ovan nämnda handböckerna även Schakta säkert (Lundström et al, 2015) vara användbar. Där ges en beskrivning av olika jordars kännetecken och beteende samt grund- och ytvattens inverkan på jordar.

4 Förutsättningar för god arbetsmiljö vid maskinuppställning

Genom *projektering* tas en bygghandling fram. Bygghandlingen beskriver vad som ska utföras i projektet. Bygghandlingen bör normalt, i projekt med uppställning av berörda maskiner, omfatta en **arbetsmiljöplan**, en **kontrollplan** och **krav på att ett underlag till arbetsberedning** ska tas fram.

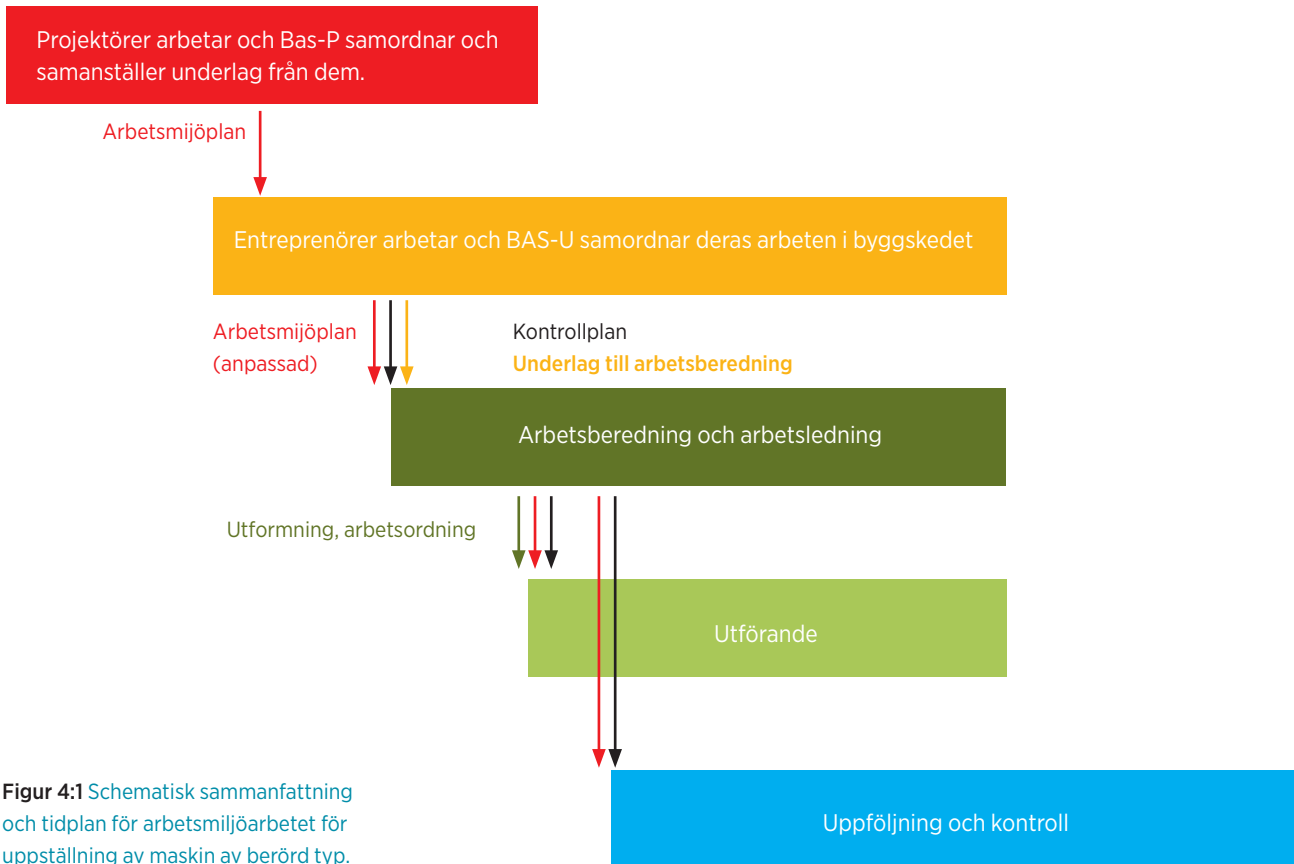
Beredning i berörda projekt bör göras i två steg enligt följande. I steg ett upprättar entreprenören ett underlag till arbetsberedning i form av en **entreprenadteknisk specifikation**, ETS. ETS ska omfatta en anvisning för uppställning av aktuella maskiner. Att ett utförande enligt ETS är möjligt och ger en arbetsplattform eller markyta för uppställning med tillräcklig bärförmåga ska verifieras med hjälp av bärlastberäkningar, eventuellt andra konstruktionstekniska beräkningar och eventuellt provbelastningar, med hänsyn till arbetsplattformens slutliga konstruktion. ETS ska delges beställaren.

Steg två är den **arbetsberedning** som arbetsledare, operatörer (maskinister) och andra tar fram, utifrån ETS, och som uppställningsansvarig (se nedan) ansvarar för.

I inledningen av *utförandet* ska startmöte hållas och arbetsberedningen fastställas. Under utförandet ska arbetsmiljöplanen och arbetsberedningen anpassas till aktuella arbetsmetoder och förutsättningar.

Uppföljning och kontroll ska genomföras enligt arbetsmiljöplanen och kontrollplanen. Under framtagande av arbetsberedningen eller då uppföljningar genomförs ska eventuella behov av underhållsåtgärder identifieras.

Arbetsmiljöarbete enligt ovan sammanfattas schematiskt i Figur 4:1 och beskrivs mer utförligt nedan.



Figur 4:1 Schematisk sammanfattning och tidplan för arbetsmiljöarbetet för uppställning av maskin av berörd typ.

4.1 Arbetsmiljöarbete före byggstart

För att skapa förutsättningar för en säker arbetsmiljö på en arbetsplats, där uppställning av och arbete med berörda maskiner kan bli aktuellt, ska ansvar fördelas och samordnas före byggstart. Det ska också upprättas en arbetsmiljöplan (då arbetena utgörs av bygg- och anläggningsarbete), en kontrollplan och krav på underlag till arbetsberedning.

Arbetsmiljöplanen upprättas för arbetsplatsen som helhet. En arbetsmiljöplan för en arbetsplats där maskiner av berörd typ ska ställas upp ska omfatta de arbetsmoment som uppställningen innebär. Exempelvis så kan det ingå krav på att det ska upprättas anvisningar för uppställningen i en ETS och att de anvisningarna ska följas upp med en kontrollplan.

4.1.1 Ansvar och samordning

I arbetsmiljölagen och i Arbetsmiljöverkets föreskrifter för byggnads- och anläggningsarbeten finns grundläggande bestämmelser om arbetsmiljöansvar. Det framgår där att de som projekterar ska beakta arbetsmiljön för både utförande och framtida drift- och underhållsarbeten genom att projektera lösningar som behövs för att få en fullgod säkerhet som uppfyller gällande krav. Byggherren har huvudansvaret för att se till att arbetsmiljösynpunkter beaktas vid planeringen och projekteringen.

Byggherren (uppdragsgivaren) ska utse byggarbetsmiljösamordnare; en för planering och projektering (Bas-P) och en för utförandet av arbetet (Bas-U). Även om byggherren utser någon annan än sig själv har byggherren fortfarande ansvar för de uppgifter som byggarbetsmiljösamordnarna har. Byggarbetsmiljösamordnare kan vara ett företag (en juridisk person) eller en fysisk person.

Arbetsmiljöplanen samordnas av Bas-P. De riskbedömningar och lösningar som bestäms vid projekteringen utgör underlag för arbetsmiljöplanen. Arbetsmiljöplanen lämnas över till Bas-U som samordnar och följer upp så att arbetet följer gällande regler.

I Arbetsmiljöverkets föreskrifter finns närmare bestämmelser om vad som gäller vid planering, projektering, samordning, upprättande av arbetsmiljöplan och utförande av byggnads- och anläggningsarbete.

4.1.2 Arbetsmiljöplan

I Arbetsmiljöverkets föreskrifter anges ett antal riskfyllda arbeten för vilka särskilda åtgärder krävs. De särskilda åtgärderna ska beskrivas i en arbetsmiljöplan. Exempel på sådana arbeten ges i Tabell 4:1. För regler i övrigt angående när en arbetsmiljöplan ska tas fram samt obligatoriskt innehåll hänvisas till Arbetsmiljöverkets föreskrifter.

Om en Arbetsmiljöplan krävs ska den tas fram innan arbetsplatsen etableras. Den ska finnas tillgänglig för alla på arbetsplatsen. Bas-U ska se till att arbetsmiljöplanen anpassas efterhand under utförandeskedet till aktuella arbetsmetoder och förutsättningar.

För många av den typ av projekt som berörs i denna skrift bör en APD-plan (arbetsplatsdispositionsplan) ingå i Arbetsmiljöplanen. I denna ska framgå hur man planerat för utrymme för bodar, verkstäder och upplag samt för förbindelseleder och transportanordningar.

Tabell 4:1. Exempel på arbeten som kräver särskilda skyddsåtgärder.

Arbete med lansering, montering eller nedmontering av tunga byggelement eller tunga formbyggnadselement.

Arbete där det finns risk att falla till en lägre nivå, där nivåskillnaden är två meter eller mer.

Arbete där det finns risk att begravas under jordmassor, eller sjunka ned i lös mark.

Arbete i brunnar, tunnlar eller anläggningsarbete under jord.

Arbete på plats eller ett område där fordonstrafik passerar.

4.1.3 Underlag till arbetsberedning (ETS)

I Arbetsmiljöverkets föreskrifter finns regler med särskilt sikte på markarbeten. Till exempel ska markarbete planeras och genomföras så att stabiliteten i marken blir tillräcklig med hänsyn till de belastningar den kan komma att utsättas för. Vidare ska beräkningar och bedömning utföras av någon som har nödvändiga geotekniska kunskaper.

Under projekteringsskedet ska därför genomförbarheten av planerade uppställningar, arbetsplattformar och andra arbeten verifieras, avseende både teknik och arbetsmiljö, och förslag till arbetsordning tas fram. Dokumentationen av detta arbete bör för utförandentreprenader göras som en Entreprenadteknisk specifikation, ETS, enligt AMA:s krav (AMA kapitel C), med en omfattning enligt Tabell 4:2. För totalentreprenader bör motsvarande dokumentation tas fram.

I ETS är det lämpligt att inkludera en objektsspecifik ritning.

4.1.4 Underlag till besiktning och kontroll

I projekteringen av en arbetsplattform behöver man bestämma vilka besiktningar och kontroller som ska utföras. I detta arbete ingår att ta fram ett kontrollprogram (en sammanställning över de kontroller som krävs) och en kontrollplan (som visar hur, i vilken omfattning och av vem kontrollerna

Tabell 4:2. Omfattning av en entreprenadteknisk specifikation.

En detaljerad beskrivning av arbetenas utförande inklusive etapper/skeden.

Utrustning, belastningar, arbetstider, vattenstånd.

Restriktioner för utförandet (till exempel inbördes ordning, milstolpar).

En beskrivning av huvudsakliga risker.

Anvisningar för kontrollmätningar inklusive larm- och gränsvärden.

Beskrivning av förebyggande och avhjälpande åtgärder.

ska utföras). Arbetet ska vara klart innan arbetsberedningen påbörjas och då överlämnas i form av en kontrollplan. Beställaren ska beredas möjlighet att kontrollera och godta kontrollplanen.

Av ett kontrollprogram ska följande framgå (Tabell 4:3):

Tabell 4:3. Detta ska framgå av ett kontrollprogram (IEG Rapport 2:2008).

Förutsättningar och händelser som bör övervakas och kontrolleras.

Vilka mätningar som ska utföras. För alla mätningar ska gränsvärden tas fram i form av larmgräns samt stoppgränsvärden. Intervall för mätning och redovisning ska också framgå.

Ett åtgärdsprogram som beskriver vad som ska göras om gränsvärden överskrids.

Vilka förhållanden som kontrollprogrammet är baserad på.

Syftet med en kontrollplan är att man på arbetsplatsen på ett överskådligt och entydigt sätt ska kunna kontrollera de förutsättningar och antaganden som gjorts i projekteringsfasen och att uppställningar, arbetsplattformar och jord betar sig som förväntat.

4.2 Arbetsmiljöarbete under utförande

Bas-U ska ansvara för att arbetsordning och utformning av uppställningar och arbetsplattformar fastställs (under arbetsberedningen). Bas-U ska också se till att arbetsmiljöplanen anpassas efterhand under utförandeskedet till aktuella arbetsmetoder och förutsättningar.

Arbetsordningen och den planerade utformningen av uppställningar och arbetsplattformar kan behöva revideras efter byggstart och under byggets gång. Revidering kan behövas om det inträffar förändringar på arbetsplatsen eller om det visar sig att uppgifterna i bygghandlingarna inte stämmer, till exempel om markförhållandena på platsen visar sig avvika från vad som förutsattes vid projekteringen.

4.2.1 Uppställningsansvarig

Bas-U ska utse en kompetent person att leda arbetet med uppställning av en maskin, här kallad uppställningsansvarig. Uppställningsansvarig bör ha följande meriter eller motsvarande (Tabell 4:4).

Tabell 4:4. Meriter som en uppställningsansvarig bör ha.

Genomgått kursen BAM – Bättre Arbetsmiljö.

God kännedom och flera års erfarenhet om berörda maskiners arbetssätt och påverkan på arbetsplattformar och uppställningsplatser.

Uppställningsansvarig ska medverka vid startmöte och bör vara närvarande på arbetsplatsen för att kunna utföra daglig tillsyn och ta de beslut som krävs för att uppnå tillräcklig säkerhet. Exempel på uppgifter för uppställningsansvarig (Tabell 4:5):

Tabell 4:5. Exempel på uppgifter för uppställningsansvarig.

Ansvara för att riskinventeringar genomförs.

Engagera geotekniker när det behövs.

Ansvara för och dokumentera arbetsberedningar. Tillse att underlag till arbetsberedning för utförande av markarbeten enligt AMA efterföljs.

Gå igenom arbetsberedningar med arbetslaget, och se till att de finns tillgängliga för dem.

Hålla arbetsberedningen aktuell.

Se till att föreskrivna checklistor och arbetssätt används.

Omedelbart avbryta arbetet vid avvikelser från projektering/arbetsberedning och därefter korrigerar arbetet.

4.2.2 Läsa handlingar

Ett första steg i genomförandet av uppställningar av berörda maskiner är att läsa relevanta handlingar. Förutom arbetsmiljöplan, ETS och kontrollplan så behöver uppställningsansvarig läsa handlingar som beskriver vilka jordlager och laster som har förutsatts under projekteringen.

4.2.3 Startmöte

Ett formellt startmöte för byggprojekt ska genomföras enligt entreprenadbestämmelserna (AB och ABT). Detta startmöte hålls mellan entreprenören och beställaren samt sido- och underentreprenörer (UE).

4.2.4 Arbetsberedning

Innan byggnation av arbetsplattformar och uppställning av maskinerna påbörjas ska arbetsledare, operatör (maskinist) med flera som ska utföra arbetet och uppställningsansvarig planera hur arbetet ska genomföras med avseende på säkerhet och risker. De behöver beakta följande (Tabell 4:6).

Tabell 4:6. Detta behöver beaktas under arbetsberedning.

Underlag i ETS som har betydelse för uppställningar av maskinerna.

Andra föreskrifter om tillåtna belastningar, exempelvis nära schakter.

Behov av kompletterande geotekniska undersökningar/analyser och andra uppgifter för att arbetet ska kunna genomföras säkert.

Krav på särskild ordningsföljd av arbetena eller andra åtgärder med hänsyn till schaktens stabilitet eller andra styrande faktorer.

Vilken övervakning och uppföljning av kritiska förhållanden, exempelvis markrörelser mot schakter eller sättningar i befintliga byggnader, krävs?

Krävs ytterligare kompetenser/erfarenheter?

4.2.5 Planeringsmöte med berörd personal

Då arbetsberedning har tagits fram rekommenderas att en genomgång av en **checklista inför produktionsstart** (se exempel i Bilaga 5) utförs och att ett planeringsmöte med berörd personal hålls. Syftet med planeringsmötet är att informera och diskutera med samtliga berörda vad som står i arbetsberedningen och att klargöra följande (Tabell 4:7):

Tabell 4:7. Detta behöver klargöras under planeringsmöten med berörd personal.

Ansvarsfördelningen.

Vilka svårigheter och risker som föreligger och vilka åtgärder som ska vidtas för att minimera dessa.

Att det är all personals ansvar och möjlighet att avbryta arbetet vid förhållanden som kan medföra fara.

Innehåll i kontrollplanen, inklusive gränsvärden för mätningar, vem som ansvarar för vad och vad man gör om gränsvärdena överskrids.

4.2.6 Utförande

De personer som arbetar med byggnation av arbetsplattformar och uppställning av maskiner har ett ansvar att utföra sina arbeten i enlighet med upprättade arbetsberedningar (med tillhörande arbetsmiljöplan och kontrollplan). De har ett ansvar att informera om säkerhetsrisker och att avbryta arbetet om de upptäcker felaktigt utförande eller andra faror.

4.2.7 Uppföljning och kontroll

Uppföljning och kontroll ska genomföras enligt kontrollplanen. Besiktningar ska genomföras och uppmätta värden ska jämföras med gränsvärden i kontrollplanen. Om mätningar visar att gränsvärdena överskridits ska de instruktioner åtföljas som framgår av kontrollplanen.

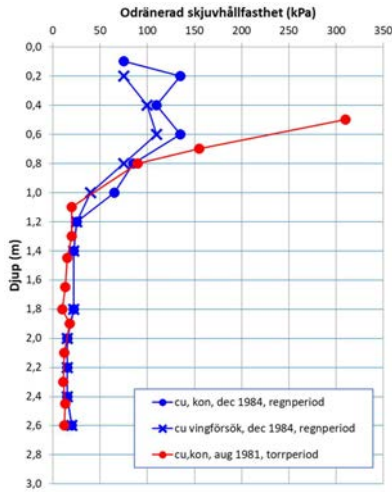
5 Geotekniska förutsättningar

5.1 Inledning

Som underlag för projektering av byggnader och anläggningar ska alltid en geoteknisk utredning utföras för att ta reda på vilka geotekniska förhållanden som råder på aktuell plats. Geotekniska fält- och laboratorieundersökningar utförs för att ge underlag till den geotekniska utredningen. Undersökningarna syftar till att ta reda på bland annat:

- jordlagerföljd
- jorddjup
- grundvattenytans läge
- jordens kompressionsegenskaper/sättningsegenskaper
- jordens hållfasthet
- jordens störningskänslighet.

Omfattningen av de geotekniska fält- och laboratorieundersökningarna uppvisar normalt stor variation beroende på typ av byggnads- eller anläggningsobjekt. Som underlag för projektering av arbetsplattformar för berörda maskiner är geoteknisk information om de översta metrarna i jordlagerföljden av störst intresse inklusive variationen av jordens ytliga egenskaper inom det område där arbetena ska bedrivas. Detta är viktigt då variationen i jordegenskaper normalt är större inom de översta metrarna av jordprofilen än en bit ned under markytan. Det är dock inte någon självklarhet att detaljerad information om jordens egenskaper inom de översta metrarna av jordprofilen finns att tillgå från de geotekniska fält- och laboratorieundersökningar som görs för aktuell byggnation, då dessa syftar till att besvara andra frågeställningar. Det är därför ofta nödvändigt att utföra kompletterande undersökningar som underlag för dimensionering av arbetsplattformar.



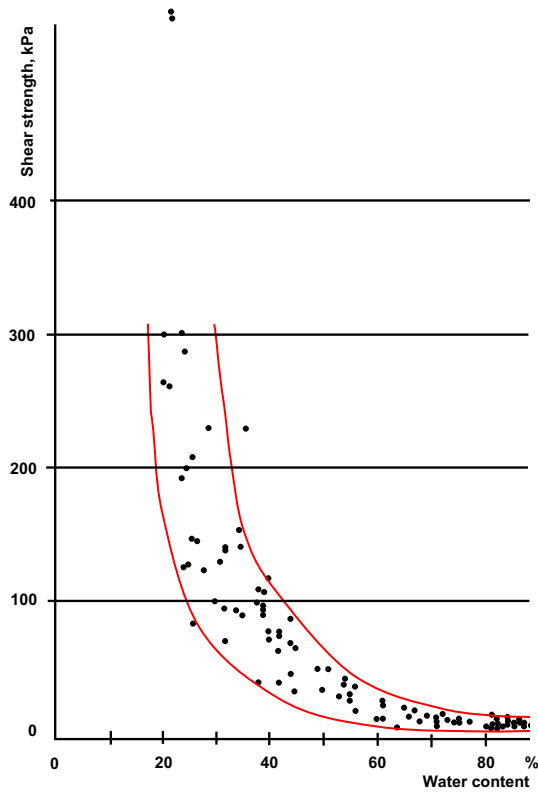
Figur 5:1 Odränerad skjuvhållfasthet vid Bäckebo, Göteborg bestämd med konförsök och vingförsök under december 1984 efter en regnig period och under augusti 1981 efter en torrperiod. Efter Ringesten (1988).

I Eurokod 7, Dimensionering av geokonstruktioner, Del 1: Allmänna regler (SS-EN 1997-1:2005) och Del 2: Marktekniska undersökningar ges grundläggande krav avseende utförande och redovisning av geotekniska undersökningar och krav på geotekniska indata för dimensionering: I IEG rapport 10:2010 ges råd/vägledning för markundersökningar avseende hur identifierade skillnader mellan tidigare svensk praxis och SS-EN 1997-2 bör hanteras. I IEG Rapport 2:2010 redovisas förslag på omfattning och utformning av redovisning av geotekniska fältundersökningar som utförs i Sverige, baserat på europeiska standarder. I Trafikverkets tekniska råd för geokonstruktioner (TK Geo 13) och Trafikverkets tekniska krav för geokonstruktioner (TR Geo 13) redovisas krav och råd avseende utvärdering av geotekniska parametrar från fält- och laboratorieundersökningar samt empiriska samband.

5.2 Geotekniska förutsättningar inom den översta delen av jordlagerprofilen

I lerområden finns normalt överst i jordprofilen ett något fastare lager med torrskorpelera, som är överkonsoliderad på grund av uttorkning, grundvattenfluktuationer, tjälning och vittringseffekter. Torrskorpelerans tjocklek varierar mellan olika lokaler och kan även variera inom avgränsade områden, exempelvis en byggplats. Torksprickor och rotkanaler påverkar torrskorpelerans makrostruktur så att exempelvis dränering går mycket fortare än vad permeabiliteten i mikrostrukturen skulle medge. På samma sätt kan makrohållfastheten vara betydligt lägre än mikrohållfastheten, på grund av spricksystem i jorden. I områden med lös lera finns under torrskorpeleran vanligen en övergångszon med gradvis minskande överkonsolidering ned till den mer normalkonsoliderade eller svagt överkonsoliderade leran.

Torrskorpelera sväller och krymper beroende av väderleken (regn, torka, temperatur) under olika årstider. Även skjuvhållfastheten kan förändras efter en långvarig period med nederbörd eller torka och hög temperatur. Ringesten (1988) visar exempel på variationen i mikrohållfastheten i de översta 3 metrarna av jordprofilen, bestämd vid olika årstider med konförsök och vingförsök, se Figur 5:1. Överst ses 0,6–0,7 m torrskorpelera följt av en övergångszon med gradvis minskande hållfasthet/överkonsolidering ned till den normalkonsoliderade/svagt överkonsoliderade leran på cirka 1–1,1 m djup.



Figur 5:2 Samband mellan odränerad skjuvhållfasthet och vattenkvot inom den översta delen av jordprofilen vid Bäcke-
bol, Göteborg. Efter Ringesten (1988).

Ringesten (1988) visar också den odränerade skjuvhållfasthetens variation med vattenkvoten för den översta delen av jordprofilen vid Bäcke-
bol i Göteborg. Som framgår av Figur 5:2 är hållfasthetsvariationen i torrskorpeleran stor vid låga vattenkvoter.

Forskning har visat att odränerad skjuvhållfasthet i torrskorpelera bestämd med vingförsök och CPT överskattar hållfastheten. Jämförelser har gjorts med plattförsök, skjuvboxförsök in situ, provbanksbrott och odränerade aktiva triaxialförsök. Vidare läsning kan göras i Lefebvre et al (1987), D'Ignazio et al (2015) och Khan (1993).

För att ta hänsyn till ovanstående ska, enligt svensk praxis det karakteristiska värdet på den odränerade skjuvhållfastheten i torrskorpeleran reduceras till halva uppmätta mätvärdet dock som högst till 50 kPa och som lägst till uppmätt värde just under torrskorpan. Se Bergdahl et al (1993).

Eftersom CPT-sondering normalt påbörjas vid torrskorpelerans underkant, kan kompletterande undersökningar från markytan och ned till några meters djup under markytan erfordras.

Inom de områden i Sverige som har mer varierande jordlagerföljder med omväxlande jordlager med silt, sand och lera eller jordlager med silt och sand kan jordförhållandena inom de översta metrarna av jordprofilen variera. Överst kan torrskorpesilt påträffas som bildats på grund av uttorkning, grundvattenfluktuationer och vittringseffekter, men även löst lagrad sand kan förekomma där hållfastheten är lägst strax under markytan och ökar mot djupet. På samma sätt som vid lerområden erfordras CPT-sondering till några meter under markytan för att få underlag för dimensionering av uppställning för berörda maskiner.

I urbana miljöer finns det ofta fyllning överst i jordprofilen. Befintlig fyllning är normalt mer heterogen än det översta lagret av naturligt avsatt jord. Fyllningen kan ha lagts ut vid olika tillfällen och därför ha olika tjocklek, bestå av naturlig jord som varierar från organisk jord eller lera till grus eller morän, bestå av tillverkad fyllning av naturligt material eller bergkrossmaterial eller var utförd med eller utan packning. Det är därför viktigt att komplettera sonderingar med provgrovsgrävning.

5.3 Geotekniska fält- och laboratorieundersökningar

Vid geotekniska undersökningar i lösa sediment som lera, silt och sand används ofta CPT-sondering. I lera används även andra in-situmetoder, exempelvis vingförsök för bestämning av odränerad skjuvhållfasthet. Det är viktigt att odränerad skjuvhållfasthet från vingförsök och CPT korrigeras både med avseende på konflytgräns och överkonsolideringsgrad. Eftersom överkonsolideringsgraden i princip är omöjlig att bestämma för torrskorpelera, måste torrskorpelerans överkonsolideringsgrad normalt antas till ett mycket högt värde. I lera utförs normalt även ostörd provtagning för fortsatt provning av bland annat hållfasthet och deformationsegenskaper i laboratorium. På ostörda prover kan vid behov, även odränerade direkta skjuvförsök eller aktiva, odränerade triaxialförsök utföras. I silt- och sandjordar utförs oftast störd provtagning med skruvprovtagare.

Hejarsondering kan användas i friktionsjordar (grus, morän) för att via empiri utvärdera jordens hållfasthets- och deformationsegenskaper. Inom

områden med befintlig fyllning behöver provgrovsgrävning normalt utföras, för att undersöka variationer av egenskaper inom ett område. Metodbeskrivning för provgrovsgrävning finns i en publikation från Trafikverket (Vägverket, 2006).

Kännedom om grundvattenförhållanden är ur geoteknisk synpunkt mycket viktigt i alla jordar och för de flesta tillämpningar, så även vid dimensionering för uppställning av berörda maskiner. Mätning kan göras med slutna system (porttrycksmätning), i rör med filterspets (filtret släpper igenom vatten men förhindrar jord från att tränga in i röret) och i öppna rör.

Arbetsområdet bör okulärbesiktigas av geotekniker för att inventera ytliga avvikelser inom arbetsområdet, vattenansamlingar i ytan etcetera. Det är också viktigt att utföra en arkivinventering av befintliga ledningar och gamla grundkonstruktioner etcetera inom arbetsområdet.

Vid byggplatser med befintlig fyllning kan avvikelser inom området dokumenteras genom undersökning med hjälp av mätning med en packningsmätare monterad på en vibrationsvält, så kallad yttäckande packningskontroll (YPK). Vanligtvis är vibrationsmätutrustningen monterad på vältens trumma. Motivet till mätningen är inte i första hand att mäta packningsgraden i fyllningen, utan motivet är att dokumentera avvikelser, exempelvis varierande tjocklek och egenskaper i fyllningen eller i den översta delen av den naturliga jorden under fyllningen. Resultatet från undersökningen kan användas för att identifiera "svaga" områden, där låga vältmätarvärden uppmäts. Inom dessa områden utförs kompletterande undersökningar och vid behov erforderliga förstärkningsåtgärder. Metodiken kan också användas för kontroll av en utlagd arbetsbädd. Ett vältmätarvärde är ett dimensionslöst mätvärde på fastheten i undergrunden och påverkas både av fyllningens och undergrundens egenskaper. Det är inte den numerära storleken på mätvärdet som är av intresse, utan skillnader i vältmätarvärde inom ett område. Metodbeskrivning finns i en publikation från Trafikverket (Vägverket, 1994).

Resultaten från en geoteknisk undersökning i fält och laboratorium presenteras i en markteknisk undersökningsrapport, MUR.

Information om olika undersökningsmetoder redovisas i Geoteknisk Fält-handbok (SGF, 2013) samt europastandarder för olika fält- och laboratoriemetoder.

5.4 Rekommendationer

Som underlag för dimensionering av arbetsplattformar för berörda maskiner rekommenderas att geotekniska undersökningar och grundvattenundersökningar, beskrivna ovan för olika jordar, utförs som är avsedda för aktuell tillämpning. Undersökningen kan antingen utföras i samband med de undersökningar som görs som underlag för projektering av aktuell byggnation eller genom kompletterande undersökningar som underlag för dimensionering av uppställning av berörda maskiner. Undersökningarna bör utföras från markytan ned till några meter under bedömt påverkansdjup för bärighetsbrott, se Kapitel 6. och det är viktigt att hela arbetsområdet undersöks då de ytliga egenskaperna kan uppvisa en stor lokal variation. Bärighetsbrott uppstår lokalt och är därför kraftigt påverkat av de lokala förutsättningarna direkt under lasten. Det är därför viktigt att svaghetszoner inom arbetsområdet identifieras, exempelvis zoner med tunn torrskorpa, sprucken torrskorpa, förekomst av ytlig lös jord, bristfälliga befintliga fyllningslager och lågpunkter med vattenansamlingar. För att identifiera svaghetszoner inom områden med befintlig fyllning eller en utlagd arbetsbädd kan mätning utföras genom mätning med packningsmätare monterad på en vibrationsvält.

Med hänsyn till osäkerheter när det gäller bestämning av relevanta hållfasthetsvärden i torrskorpelera och för att ta hänsyn till makrohållfastheten på grund av uppsprickning samt töjningskompatibilitet med underliggande lös lera rekommenderas att svensk praxis tillämpas, det vill säga att det karakteristiska värdet på den odränerade skjuvhållfastheten i torrskorpeleran reduceras till halva uppmätta mätvärdet, oavsett metod för hållfasthetsbestämning. Den odränerade skjuvhållfastheten i torrskorpeleran sätts som högst till 50 kPa och som lägst till uppmätt värde just under torrskorpan. För lera under torrskorpeleran samt för silt och friktionsjord kan uppmätta mätvärden enligt praxis användas.

Vilka egenskaper behöver bestämmas?

- Befintliga fyllningslagers tjocklek, materialklassificering och hållfasthetsegenskaper.
- Tjocklek på torrskorpelera.
- Torrskorpelerans odränerade skjuvhållfasthet.

- Odränerad skjuvhållfasthet för lera i ”övergångszonen” och den underliggande normalkonsoliderade/svagt överkonsoliderade leran.
- Tjocklek på olika jordlager vid omväxlande jordlagerföljd.
- Friktionsvinkel (hållfasthet) för silt och friktionsjord.
- Grundvattennivå och portryck.

Det är viktigt att påpeka att det är nödvändigt att undersöka ovanstående parametrars variation inom ett arbetsområde. Hänsyn bör också tas till väderförhållandena (nederbörd, temperatur) under den period då arbetena planeras att utföras, då de översta jordlagrens egenskaper påverkas av nederbörd och temperatur.

Jordens skrymdensitet, kan bestämmas antingen genom skrymdensitetsbestämning på kolvprover eller genom empiriska tabellvärden, exempelvis enligt SGI Information 1 (Larsson, 2008).

6 Beräkningar

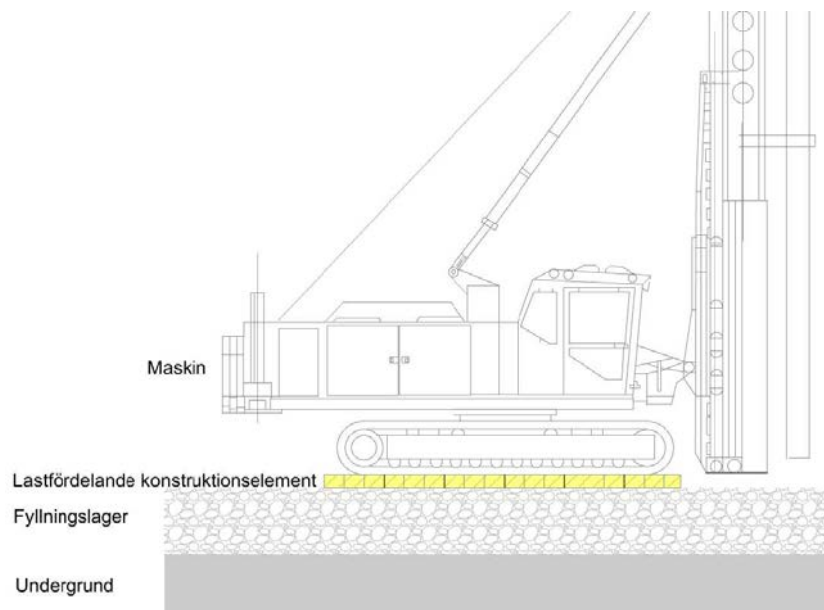
6.1 Inledning

De beräkningar som behandlas i detta kapitel avser maskinlaster, kontakttryck under lastfördelande konstruktionselement och jordens vertikala bärförmåga (bärighet). Maskiner, fyllningar och arbetet med maskiner kan också leda till annan påverkan i omgivande jord. Sådan påverkan kan exempelvis leda till instabilitet i närliggande slänter eller schakter. För bedömning av risken för instabilitet kan det krävas stabilitetsberäkningar, vilka inte behandlas här.

Även för att bedöma sättningar kan beräkningar behöva utföras. Dels med hänsyn till andra gradens moment, se Kapitel 6.2, dels med hänsyn till andra krav på sättningar som kan ha ställts i projekteringen. För beräkning av sättningar hänvisas till tillämpliga delar i IEG Rapport 7:2008.

I Figur 6:1 visas exempel på en uppställningsyta i sektion bestående av lastfördelande konstruktionselement (stockmatta), fyllningslager av packad friktionsjord och en lös undergrund. Lastfördelande konstruktionselement och fyllningslager syftar till att reducera tillskottsspänningar under maskinen så att acceptabla säkerhetsmarginaler erhålls mot vertikalt bärighetsbrott i undergrunden samt mot för stora sättningar. Kontroll av last, vertikal bärförmåga och sättningar/deformationer behöver utföras för varje separat del i detta system. En sammanställning av nödvändiga kontroller redovisas i Tabell 6:1.

Fyllningslagret måste ha en viss minsta tjocklek för att den ska kunna medföra en ökning av uppställningsytans bärförmåga. I BRE (2004) ges rekommendationen att fyllningens tjocklek ska vara större än halva lastbredden och större än 300 mm. I BRE (2004) behandlas dock inte användning av lastfördelande konstruktionselement ovanpå fyllning.



Figur 6:1 Exempel uppställning, sektion.

Tabell 6:1 Sammanställning av de kontroller som behöver genomföras inför en maskinuppställning.

OBJEKT	KONTROLL
Last från maskin (egentyngd med mera)	<ul style="list-style-type: none"> • Lastkombinationer enligt SS-EN 1997-1 • Kontaktryck under larvband
Lastfördelande element (stockmatta, plåt, förtillverkade madrasser/balkrost)	<ul style="list-style-type: none"> • Kontaktryck under elementet (m.h.t. elementets styvhet i relation till jordens styvhet) • Moment- och tvärkraftskapacitet
Fyllning (eventuellt förstärkt)	<ul style="list-style-type: none"> • Bärighetsbrott i enbart fyllningslager (- Bärighetshöjande effekt från förstärkning, behandlas ej i denna skrift)
Undergrund	<ul style="list-style-type: none"> • Stansningsbrott i fyllning och bärighetsbrott i undergrund • Sättningar

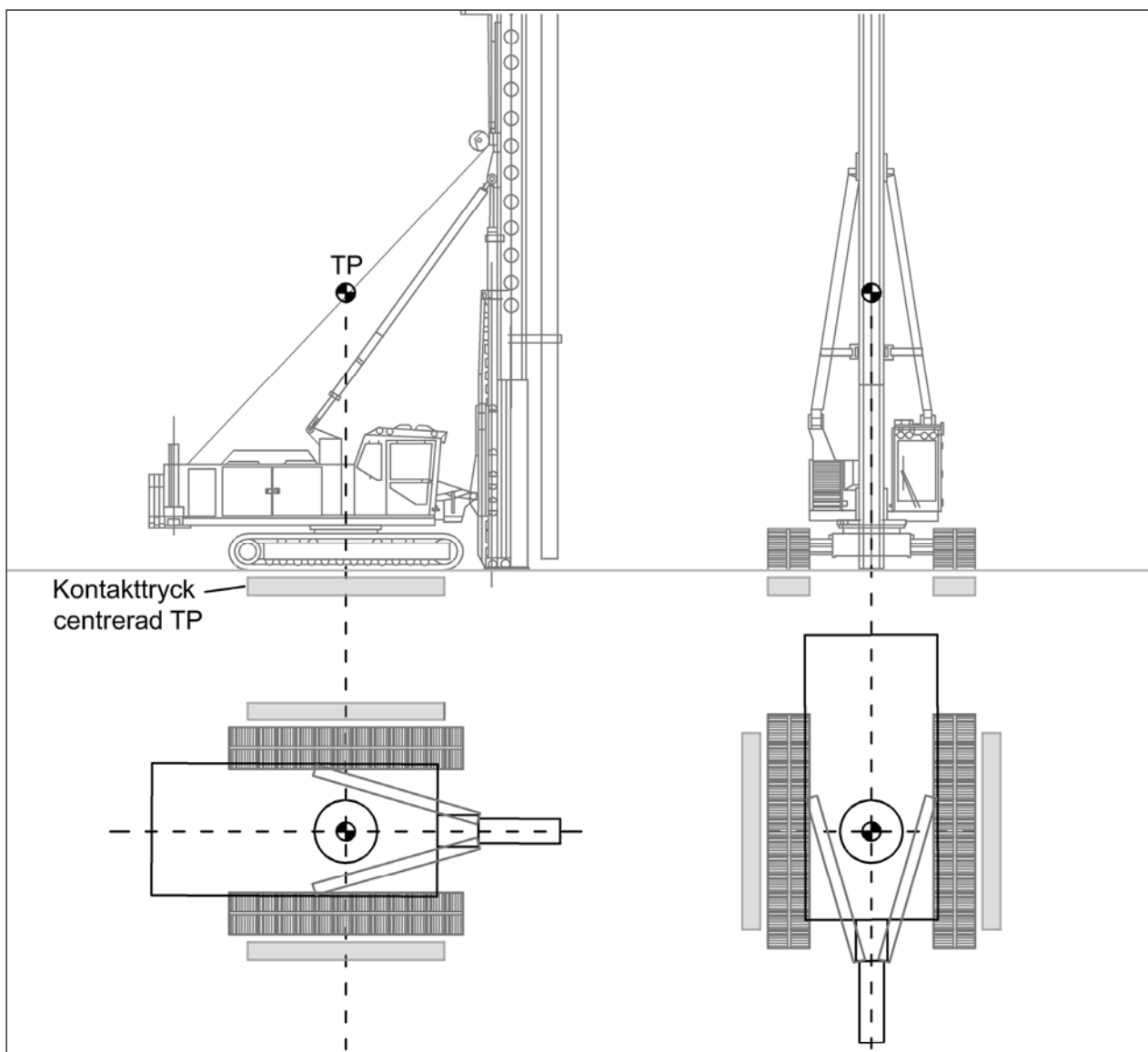
6.2 Last från maskin

Kontakttryck under maskinens larvband ska beräknas enligt gällande norm (se Kapitel 9) och ska i första hand efterfrågas hos och inhämtas från maskinleverantören och den som modifierat maskinen (om aktuellt). Om indata från maskinleverantören inte är tillgängligt kan kontakttrycken beräknas med analytisk metod förutsatt att komplett information om maskinens geometrier, rörelsemönster och egentygnder hos separata maskindelar kan tillhandahållas. De redovisade kontakttrycken, uppmätta eller beräknade, bör beakta att en lutning uppstår i maskinen vid en tyngdpunktsförflyttning om den står uppställd på en lös undergrund (Topolnicki et al, 2021). I praktiken uppstår då ett andra gradens moment där ett initialt moment orsakar en deformation som medför ett tillskottsmoment och så vidare. För maskiner med högt belägen tyngdpunkt över markytan förstärks denna effekt.

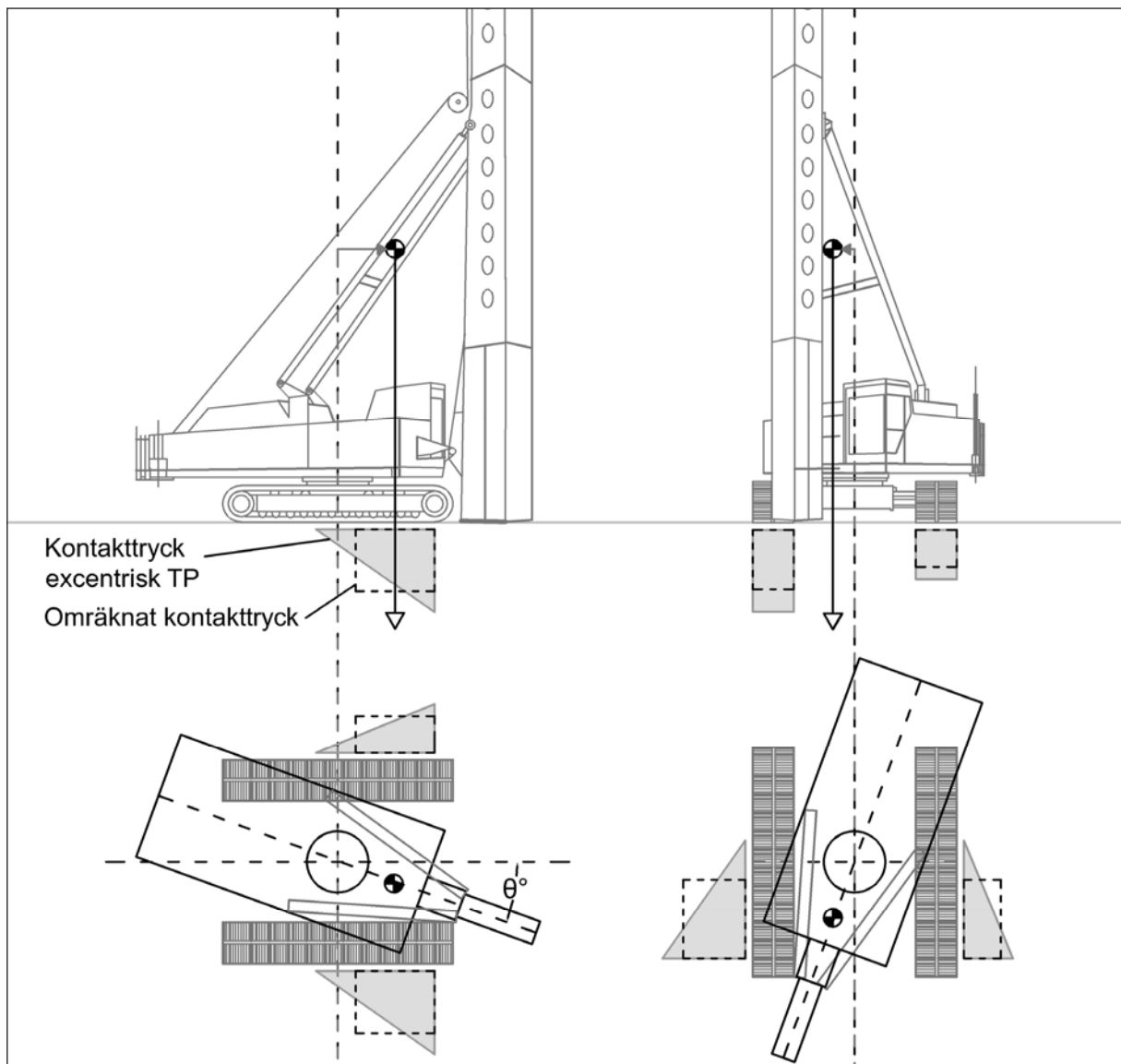
Maskinlaster verkar simultant i både vertikal och horisontell riktning (exempelvis när en påle dras in under en hejare). För beräkning av kontakttryck under larvbanden kan maskinlasterna representeras av en vertikal kraftresultant, och ett resulterande moment verkandes i en punkt. Momentet förflyttar kraftresultaten och medför därigenom en omfördelning av kontakttrycket. Kraftresultantens nya position utgör maskinens tyngdpunkt. I Figur 6:2 visas kontakttryckets omfördelning under larvbanden vid en förskjutning av tyngdpunkten från maskinens geometriska centrum.

Kontakttrycket förenklas ofta för normala fall till ett triangulärt tryck i larvbandets längdriktning och ett rektangulärt tryck i dess tvärriktning. I analytiska beräkningsmetoder av jordens vertikala bärförmåga omräknas det triangulära trycket i larvbandets längdriktning till ett ekvivalent rektangulärt spänningsblock, se Figur 6:2.

I Plattgrundläggningshandboken (Bergdahl et al, 1993, Kapitel 2.2) presenteras metoder för beräkning av kontakttryck under styva och veka plattor.



Figur 6:2 Kontakttryck under larvband för en pålmaskin med övervagnen roterad vinkeln θ mot larvbandens riktning och med förskjuten tyngdpunkt (TP) (baserad på Junttan, 2016).



6.3 Lastfördelande konstruktionselement

Vid användning av stockmattor, plåtar eller andra lastfördelande konstruktionselement för uppställning av maskiner ska lastfördelande förmåga verifieras med avseende på dimensionerande värden på styvheter för jord respektive lastfördelande element.

Verifiering av erforderlig moment- och tvärkraftskapacitet i konstruktionselementet ska utföras och redovisas. För verifiering av moment- och tvärkraftskapacitet erhålls för ett antaget jämnt fördelat kontaktryck under ett oändligt styvt konstruktionselement ett övre gränsvärde för uppträdande moment i konstruktionselementet. Redovisning av beräknade moment och tvärkrafter i en stockmatta framgår i bilagt beräkningsexempel.

Vid val av styvhets- och hållfasthetsvärden för konstruktionselementet ska hänsyn tas till dess kondition. Exempelvis erhåller vanligen stockmattor med tiden skador som medför försämrat böjmotstånd och moment- och tvärkraftskapacitet. För högt valda värden medför en överskattning av konstruktionselementets lastfördelande förmåga och en underskattning av det dimensionerande marktrycket.

Plattans lastfördelande förmåga beror av dess styvhet relativt jordens styvhet samt att den har erforderlig moment- och tvärkraftskapacitet att bibehålla sin lastfördelande förmåga för det dimensionerande lastfallet.

6.4 Jordens vertikala bärförmåga

I dagsläget saknas konsensus, såväl nationellt som internationellt, avseende en lämplig metod för beräkning av vertikal bärförmåga i två eller fler lager. I internationell litteratur har ett flertal modeller föreslagits som baseras på teori, modellförsök i laboratorium, numerisk analys eller en kombination av dessa. En jämförelse mellan beräkningsmetoderna visar emellanåt på relativt stor spridning i resultat. Vid beräkning av uppställningsytors bärförmåga är det därför viktigt att känna till beräkningsmetodens bakgrund och avgränsningar så att metodens tillämpbarhet kan bedömas för det aktuella beräkningsfallet. Några exempel är om metoden är framtagen för långsträckt (2D) eller kvadratisk/cirkulär last (3D) eller vilka spann av skjuvhållfastheter och vilka geometriska förhållanden (lastbredd mot mäktighet fyllningslager) den är avsedd för. Se Rudebeck och Rankka (2022).

6.4.1 Beteckningar och definitioner

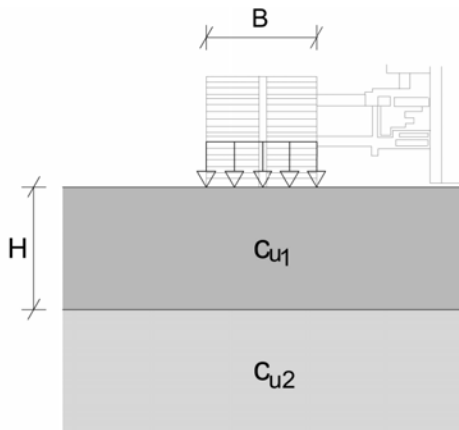
I de följande kapitlen används beteckningar och definitioner enligt Tabell 6.1 där inget annat anges.

Tabell 6.1. Beteckningar och definitioner som används där inget annat anges.

H	= Tjocklek fyllning (m)
L	= Effektiv längd ytlast (m)
B	= Effektiv bredd ytlast (m)
γ	= Tunghet i jordlager (kN/m^3)
γ'_s	= Effektiv tunghet undergrund (kN/m^3)
γ_p	= Tunghet fyllning (kN/m^3)
c_u	= Odränerad skjuvhållfasthet lera (kPa)
N_c	= Bärighetsfaktor för underlagrande kohesionsjord (-)
N_γ	= Bärighetsfaktor för friktionsjord (-)
$N_{\gamma s}$	= Bärighetsfaktor för underlagrande lös friktionsjord (-)
K_p	= Koefficient för effektivt horisontellt passivt jordtryck (-)
$K_p \cdot \tan(\delta)$	= Stansningsmotståndskoefficient (-)
δ	= $2/3 \cdot \varphi'$
φ'	= Effektiv friktionsvinkel
s_c, s_γ och s_p	= Formfaktorer (-)
μ	= Korrektionsfaktor för tillämpning av tillägg enligt Miller (2013) (-)
R	= Bärförmåga
$R\varphi'$	= Dränerad bärförmåga
R_u	= Odränerad bärförmåga

6.4.2 Ensartad jord

För undergrund som utgörs av enbart homogen friktionsjord alternativt enbart homogen kohesionsjord kan för brottgränsberäkning allmänna bärighetsekvationen tillämpas enligt avsnitt 4.3 i IEG Rapport 7:2008. Tillämpningen kan sammanfattas i följande ekvationer.



Figur 6:3 Fast lera över lös lera.

Friktionsjord med dränerad skjuvhållfasthet

Bärförmågan, R , beräknas genom

$$R = 0,5\gamma'_s B N_{\gamma_s} s_{\gamma}$$

Där

$$s_{\gamma} = 1 - 0,4 \left(\frac{B}{L} \right)$$

Kohesionsjord med odränerad skjuvhållfasthet ($\varphi' = 0$)

Bärförmågan, R , beräknas genom

$$R = c_u N_c s_c$$

Där

$$N_c = \pi + 2$$

$$s_c = 1 + 0,2 \left(\frac{B}{L} \right)$$

6.4.3 Fast lera över lös lera

2:1- metoden enligt Bergdahl et al (1983)

För beräkning av bärförmåga baserad på allmänna bärighetsekvationen och fall med en platta på fast lera som överlagrar lös lera anges, i Bergdahl et al (1983), att bärförmågan kan beräknas genom att anta en lastspridning i den fasta lera med lutning 2:1 i kombination med en beräkning av bärförmågan i den underlagrande lösa lera med allmänna bärighetsekvationen. Den totala bärförmågan för båda lagren kan dock inte överstiga bärförmågan för det övre lagret.

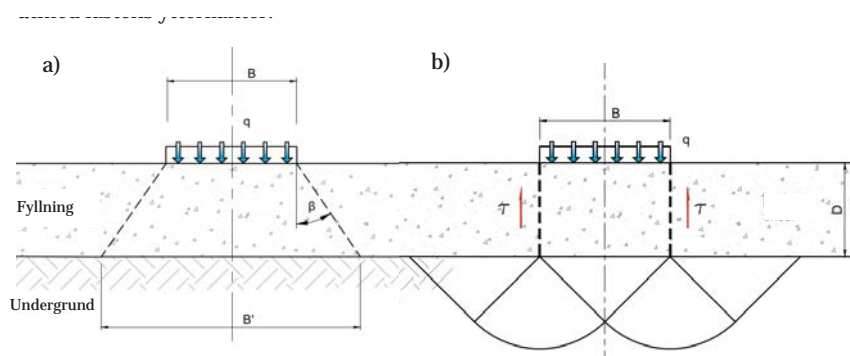
Hanna och Meyerhof (1979)

Tillskott från torrskorpa kan enligt Hanna & Meyerhof (1979) beaktas genom följande ekvation (för 2D-fallet).

$$R_u = c_{u2} N_c + 2 \frac{c_{u1} H}{B}$$

6.4.4 Fast friktionsjord över lera eller lös friktionsjord

Analytiska modeller för beräkning av bärförmåga för ett fast jordlager över ett löst kan generellt kategoriseras som lastspredningsmodeller eller stansningsmodeller. I Figur 6:4 a) representeras det övre fasta lagrets lastreducerande effekt på undergrunden genom en antagen lastspredningsvinkel. Generellt försummas skjuvmotståndet i brottplanen. I b) antas att brottet uppstår som vertikala skjuvplan med ett mobiliserat stansningsmotstånd utmed lastens ytterkanter.



Figur 6:4 a) Principen med antagande om lastspredning, b) Principen med antagande om stansning (reproducerad från TWf (2019) med tillstånd från TWf).

Gemensamt för lastsprednings- och stansningsmodellerna är att båda avser att beskriva den lastreducerande effekt som fyllningslagret medför på undergrunden under ytlasten. Denna effekt är spennings- och töjningsberoende och antas främst påverkas av:

- Fyllningslagrets relativa tjocklek, H/B
- Fyllningslagrets effektiva friktionsvinkel, φ_1'
- Undergrundens odränerade skjuvhållfasthet, c_u , alternativt friktionsvinkel, φ_2'

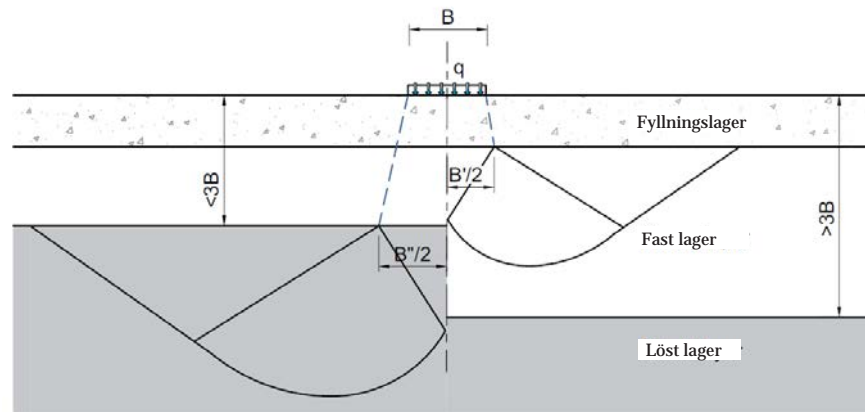
Fyllningslagrets friktionsvinkel är spenningsberoende och varierar därför med storleken på den påförda ytlasten. Friktionsvinkelns variation med spenningsnivån finns beskriven i SGI Information 8 (Larsson, 1989). Om brotttöjningen i fyllningslagret avviker från den i leran bör ett försiktigt (lägre) värde väljas för friktionsvinkeln.

Påverkansdjup

Påverkansdjupet, det vill säga det djup till vilket jordens egenskaper har påverkan på bärighetsbrottet, kan överslagsmässigt antas vara det djup där den vertikala spänningsökningen understiger 20 % av den påförda ytlasten (TWf (2019)). Spänningsökningen mot djupet under en last kan som en närmemetod beräknas med elasticitetsteori.

För ett eller flera fasta jordlager som överlagrar ett löst jordlager erfordras endast kontroll av allmänt bärighetsbrott i de övre fasta lagren om den totala mäktigheten överstiger lastbredden $3B$, enligt Figur 6:5.

Påverkansdjupet för momentana sättningar kan antas vara ner till det djup där ökningen i vertikalspänning motsvarar 20 % av jordens effektiva vertikalspänning in situ innan belastning.



Figur 6:5 Påverkansdjup, multipla jordlager (reproducerad från TWf (2019) med tillstånd från TWf).

Brottmoder

Två brottmoder behöver kontrolleras:

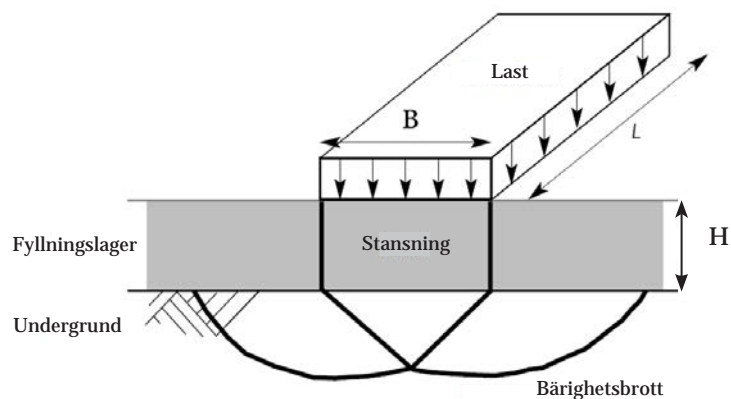
- Allmänt bärighetsbrott i övre lager (packad fyllning eller naturligt lagrad friktionsjord).
- (Nära) Vertikalt skjuvbrott i övre lager med bärighetsbrott i underliggande lös jord.

Kontroll av bärighetsbrott i enbart fyllningen, Brottmod 1, kan göras med allmänna bärighetsekvationen för homogen friktionsjord enligt IEG Rapport 7:2008, Plattgrundläggning. För beräkning av Brottmod 2 presenteras nedan två olika metoder.

Vid val av beräkningsmetod för Brottmod 2 ska hänsyn tas till metodens lämplighet för det aktuella fallet. En bakgrund och utvärdering av nedan givna metoder ges i Rudebeck och Rankka (2022).

6.4.4.1 BR470-metoden med komplement från Miller (2013)

BRE (2004) i Storbritannien har föreslagit en beräkningsmetod som baseras på Meyerhofs stansningsmodell (Meyerhof, 1974) där fyllningens lastreducerande effekt på undergrunden antas utgöras av friktionen i de vertikala skjuvplanen. Friktionen beror av fyllningslagrets friktionsvinkel och storleken på normalspänningen i skjuvplanen, representerad av stansningsparametern $K_p \cdot \tan(\delta)$. Metoden är begränsad till leror med en odränerad skjuvhållfasthet $c_u > 20$ kPa och beaktar inte heller stansningsmotståndets variation med skjuvhållfastheten i den underlagrande leran. För att göra modellen tillämplig för leror med $c_u \leq 20$ kPa samt beakta stansningsmotståndets beroende av c_u kan tillägg av Miller (2013) användas.



Figur 6:6 Schematisk skiss över stansningsbrottsmoden (© IHS Markit, reproducerad med tillstånd från BRE (2004).

Beräkning för fall med fast lagrad friktionsjord över löst lagrad friktionsjord utförs enligt Ekvation 6:1 och för fall med friktionsjord över lera enligt Ekvation 6.2. λ kan antas till $2/3 \cdot \varphi'$, värden på K_p kan hämtas från Eurokod (SS-EN 1997-1) eller värden på stansningsmotståndskoefficienten väljas enligt Tabell 6:3.

$$R_{\varphi} = 0,5\gamma'_s B N_{\gamma_s} s_{\gamma} + \left(\frac{\gamma_p H^2}{B} \right) K_p \tan(\delta) s_p$$

Ekvation 6:1

Ekvation 6:2

$$R_u = c_u N_c s_c + \left(\frac{\gamma_p H^2}{B} \right) K_p \tan(\delta) s_p \mu$$

Där

$$s_p = 1 + \left(\frac{B}{L} \right)$$

\square = korrektion enligt Miller (2013), se avsnittet Tillägg enligt Miller (2013) nedan

Tabell 6:3 Värderna för stansningsmotståndskoefficienten, $K_p \tan(\delta)$ för några olika friktionsvinklar i fyllningslagret.

φ'	$K_p \tan(\delta)$
35°	3,1
40°	5,5
45°	10,0

Tillägg enligt Miller (2013)

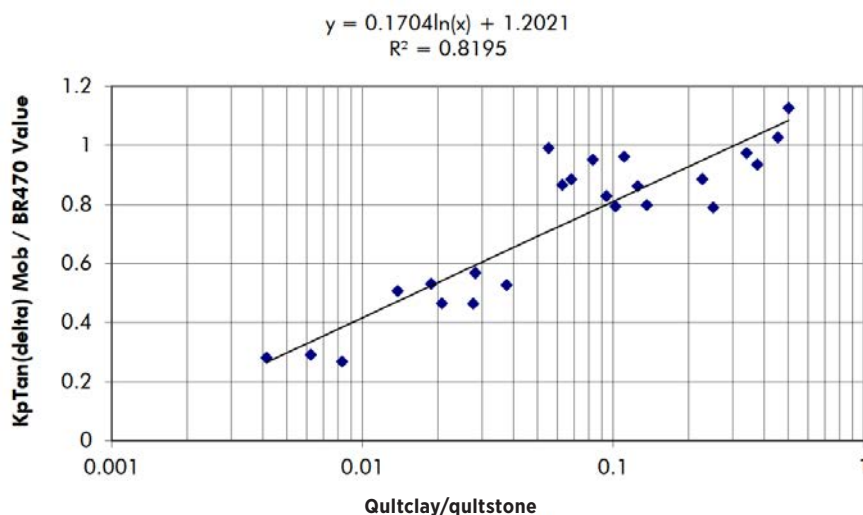
Miller (2013) påpekade brister i BR470-metoden med att den inte är tillämpbar för en undergrund av lera med $c_u \leq 20$ kPa samt att det finns fall med $c_u > 20$ kPa för vilka BR470-metoden riskerar att överskatta bärförmågan. Det föreslagna tillägget syftar till att korrigera den beräknade bärförmågan från Meyerhofs metod (Meyerhof, 1974) till Burd och Frydmans metod (Burd och Frydman, 1997) men samtidigt behålla den i BR470-metoden etablerade beräkningsgången (se Rudbeck och Rankka, 2022).

Miller antog att stansningsmotståndet i fyllningslagret beror av förhållandet mellan fyllningslagrets och undergrundens respektive bärförmågor. Stansningsmotståndets variation antog han hade beaktats i Burd och Frydmans metod. Korrektionsfaktorn, μ , erhålls som en funktion av lerans bärförmåga ($c_u N_c s_c$) och fyllningslagrets bärförmåga ($0,5 \gamma_p B N_{\gamma} s_{\gamma}$) samt en omräkningsformel mellan BR470-metoden och Burd och Frydmans metod (Ekvation 6:3). Omräkningsformelns härledning framgår i Figur 6:7. Korrigeringen utförs genom att multiplicera stansningsmotståndskoefficienten med korrektionsfaktorn μ enligt ekvation 6:2.

Det saknas resultat som underbygger metodens tillämpbarhet för maskinuppställning på stockmattor.

$$\mu = 0,17 \cdot \ln\left(\frac{c_u N_c s_c}{0,5 \gamma_p B N_\gamma s_\gamma}\right) + 1,20$$

Ekvation 6:3



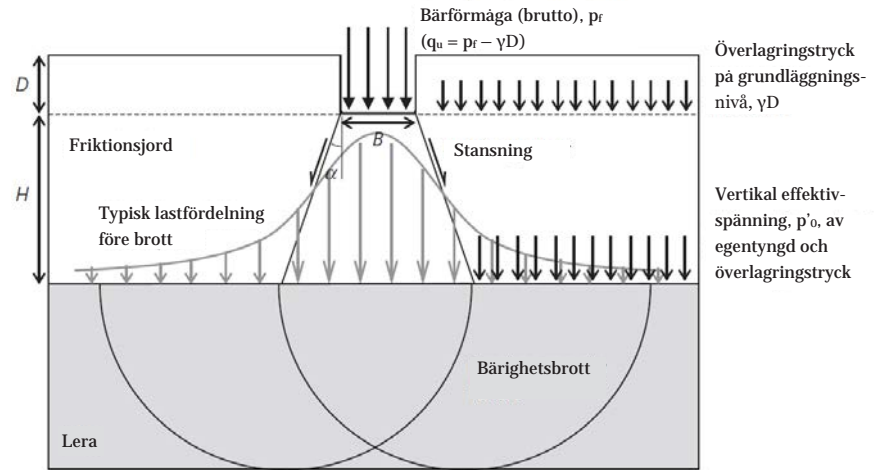
Figur 6:7 Y-axel: kvot mellan stansningsmotståndskoefficienter härledda från Burd & Frydman (KpTan(delta) Mob) respektive BR470-metoden (BR470 Value). X-axel: kvot mellan bärförmåga i lera (qultclay=cuNc) och bärförmåga i fyllningslager (qultstone=0,5ypBNy) beräknade enligt allmänna bärlighetsekvationen. Plottade punkter representerar beräkningsfall med avseende på olika kombinationer av friktionsvinkel i fyllning, mäktighet av fyllning och odränerad skjuvhållfasthet i lera. Svart linje och ekvation: Millers korrektionsfaktor. Från Miller (2013).

6.4.4.2 T-värdesmetoden

Flertalet av hittills publicerade analytiska metoder är härledda från resultat från plattbelastningsförsök och/eller numeriska analyser för långsträckta ytlaster (2D). Uppställning av maskiner utgör dock i hög grad tredimensionella lastfall. Som korrigerande för detta har en teoretiskt härledd formfaktor, s_p , valts för fyllningen med svag eller ingen verifiering med experimentella eller numeriska studier (Lees, 2020b). En analytisk metod som är härledd från både långsträckta och cirkulära/kvadratiska lastfall har föreslagits av Lees (2020a), som benämner den T-värdesmetoden. Metoden har inte några begränsningar i tillämpning gällande lerans odränerade skjuvhållfasthet, c_u , eller fyllningens friktionsvinkel, φ' , men värden på friktionsvinklar $\varphi' > 40^\circ$ rekommenderas att användas med försiktighet (Lees, 2020b). Geometri och terminologi för T-värdesmetoden visas i Figur 6:8.

Fyllningslagrets bärighetshöjande effekt representeras av T-värdet, som beror av förhållandet i hållfasthet mellan fyllningen och den underliggande leran. För samma bärighet i fyllningen som i leran blir T-värdet noll.

I Sverige saknas dokumenterade praktiska erfarenheter av metoden. Det rekommenderas därför att metoden används med kompletterande kontroller och plattbelastningsförsök för verifiering av beräkningar tills en erfarenhetsbank har byggts upp.



Figur 6:8 Geometrier och terminologi för T-värdesmetoden (baserad på Lees, 2020a).

Beräkning för fall med friktionsjord över lera utförs enligt metoden med hjälp av Ekvation 6:4 och för fall med fast friktionsjord över lös friktionsjord enligt Ekvation 6:5.

Ekvation 6:4

$$R_0 = c_u N_c S_c \left(1 + T \frac{H}{B} \right) \quad \left(\frac{B}{L} = 0, \text{ långsträckt ytlast} \right)$$

$$R_1 = c_u N_c S_c \left(1 + T \frac{H}{B} \right)^2 \quad \left(\frac{B}{L} = 1, \text{ kvadratisk eller cirkulär ytlast} \right)$$

där

$$T = 1,4 \left(\frac{c_u}{\sigma'_0} \right)^A + E$$

$$A = -0,41\phi' - 0,18$$

$$E = 4,2\phi' - 3,4$$

- R_0 = bärförmåga långsträckt ytlast, 2D (kPa)
 R_1 = bärförmåga cirkulär/kvadratisk ytlast, 3D (kPa)
 T = stansningsmotstånd i friktionsjord (-)
 φ' = effektiv friktionsvinkel (rad)
 H = friktionsjordens tjocklek under ytlast (m)
 B = effektiv lastbredd (m)
 L = effektiv lastlängd (m)

$$R_0 = 0,5\gamma'_s B N_{\gamma_s s_{\gamma}} \cdot \left(1 + T \frac{H}{B}\right)$$

Ekvation 6:5

$$R_1 = 0,5\gamma'_s B N_{\gamma_s s_{\gamma}} \cdot \left(1 + T \frac{H}{B}\right)^2$$

där

$$T = 5s_T \left(\frac{\varphi'_1}{\varphi'_2} - 1\right) \left(\frac{\gamma'_1}{\gamma'_2}\right)^{s_T}$$

- φ'_1 = effektiv friktionsvinkel övre friktionslager (° alt. rad)
 φ'_2 = effektiv friktionsvinkel nedre friktionslager (° alt. rad)
 γ'_1 = effektiv tunghet övre friktionslager (kN/m³)
 γ'_2 = effektiv tunghet nedre friktionslager (kN/m³)
 s_T = 1,0 för långsträckt ytlast, 2D (-)
 0,6 för kvadratisk/cirkulär ytlast, 3D (-)

För rektangulär last beräknas bärförmågan för både långsträckt ytlast, R_0 , och kvadratisk ytlast, R_1 . Bärförmågan för den rektangulära lasten, R_2 , erhålls genom linjär interpolering mellan R_0 och R_1 med avseende på bredd-längd-förhållandet för den rektangulära lasten enligt Ekvation 6:6.

$$R_2 = R_0 + \frac{B}{L}(R_1 - R_0)$$

Ekvation 6:6

6.5 Numerisk analys

Enligt SS-EN 1997-1:2005 är analytiska metoder ofta inte tillämpliga för beräkning av bärförmåga vid grundläggning på undergrund med multipla jordlager. Numerisk analys anges då vara en möjlig beräkningsmetod. I internationell litteratur har numerisk analys nyttjats för beräkning av bärförmåga för ytliga fundament på multipla jordlager. Generella osäkerheter som framhålls är att resultatet är beroende av elementtäteten (mesh dependency) samt att numerisk instabilitet kan förekomma vid bärighetsberäkning i friktionsjord. Det är dock möjligt, med omsorgsfullhet, att få tillförlitliga resultat med hjälp av numerisk analys (Burd och Frydman, 1997).

6.6 Armering

Metoder för dimensionering av arbetsplattformar med armering har inte utvärderats i samband med denna skrift. Det noterades dock att en metod för dimensionering av arbetsplattformar armerade med geosynteter beskrivits i BRE (2004). Invändningar mot metoden har framförts i tillägget BRE (2011) och metoden har utvärderats i TWf (2019). Mobilisering av geosyntetisk armering kräver en viss deformation (SGF Rapport 2:2004) och grundprincipen bör enligt SGF Rapport 2:2004 vara att kombinera materialens (geosynteten och jordmaterialen) hållfasthetsvärden vid kompatibla deformationsnivåer. I Trafikverkets tekniska krav för geokonstruktioner (TK Geo 13) finns krav från Trafikverket gällande materialegenskaper hos geosynteter för armering.

7 Provbekastning

Provbekastning av plattor (plattförsök) används för att bestämma styvhet hos packad fyllning. Normalt finns en begränsning i djupled på cirka 2 gånger diametern (vilken för standardplatta är 0,3 m). Metoden kan tillsammans med välmätning (yttäckande packningskontroll) ge en indikation på svaghetszoner men är svår att använda som ett absolut mått på styvhet då spridningen i mätresultat oftast är stor. I IEG Rapport 7:2008 berörs även andra tillämpningar av plattförsök. Se även SS-EN 1997-1 Punkt 2.1 (4) och 2.6. Exempel på ett plattförsök ges i Figur 7:1.

Provbekastning av en maskinuppställning kan utföras för kontroll av uppställningens beteende. För mobilkranar uppställda på plattor och med möjlighet att mäta stödbenslaster kan det gå att få bra underlag för bestämning av grundtryck. För larvburna kranar är det svårare att bestämma grundtryck. Förutom last (grundtryck) behöver sättning kunna mätas. Provbekastning utfördes för de uppställningar som visas i Figur 7:2 och Figur 7:3.



Figur 7:1 Exempel på plattförsök.

Figur 7:2 Provbekastning utfördes i samband med denna uppställning av en mobilkran.



Figur 7:3 Provbekastning utfördes i samband med denna uppställning av en larvgående kran.



8 Tillhandahållande av arbetsplattform

8.1 Utformning

Arbetsplattformen ska utformas så att den har tillräcklig bärighet för de maskiner, utplag och andra objekt som den kommer att bli utsatt för. Den ska också erbjuda säkert tillträde för all personal som befinner sig på arbetsplatsen.

Krav på fyllningsmaterial och metoder för utläggning och packning av fyllning ställs i SS-EN 1997-1 Kapitel 5. I AMA och i IEG Rapport 7:2008, Bilaga E.1, finns råd och anvisningar som kan tillämpas för att uppfylla kraven

Vid packning nära kanter av en plattform saknas ofta sidomotstånd (mothållande fyllning eller annan jord) och packningen blir på grund av detta inte lika effektiv nära kanterna. Utbredningen utanför maskinernas arbetsområde ska vara tillräcklig för att förankra geonät, annan förstärkning eller medräknad motvikt av fyllning i bärighetsberäkning. De här förhållandena måste beaktas vid projektering och bestämning av hur nära arbetsplattformens kanter en maskin får köras och ställas upp. Svensk Grundläggningsriktlinjer för arbetsplattformar för larvburna grundläggningsmaskiner ställer krav på att avståndet till arbetsplattformens kant ska vara minst 2 m då arbete utförs med maskinen alternativt att ansvarig geokonstruktör ska kontrollera att avvikelse från detta mått är acceptabelt.

Ramper måste utformas så att dessa har tillräcklig bredd och tillräckligt liten lutning för maskinerna.

Arbetsplattformen ska vara dränerad och utformad så att vattensamlingar och slam inte ansamlas på ytan.

En avschaktad terrass på en mellan- till högsensitiv lera kan vid utläggning och packning av en arbetsplattform förlora mycket av sin bärförmåga. Terrasser av siltig jord är också känsliga för vibrationer och byggtrafik, speciellt vid nederbörd. Detta måste beaktas vid utformningen.

Grundvattenytans nivå har stor betydelse för bärförmågan för en arbetsplattform och den kan behöva sänkas. Speciellt måste detta beaktas då maskinerna ställs upp på terrassytan i en schakt under grundvattenytans trycknivå. Flera olika typer av grundbrott behöver då beaktas med hänsyn till schaktens stabilitet i sig men också den hydrauliska gradienten i schaktbotten som kraftigt kan reducera terrassytans hållfasthet. Exempel på metoder för att sänka grundvattenytans trycknivå ges i Tabell 8:1. Vilken metod som är lämplig beror bland annat på jordart.

Tabell 8:1. Exempel på metoder för att sänka grundvattenytans trycknivå.

Filterförsedda pumpgropar

Grävda filterbrunnar

Borrade filterbrunnar

Blödarrör

Wellpoints



Figur 8:1 Stockmattor i dåligt skick.

Arbetsplattformen kan förstärkas med lastfördelande konstruktionselement eller armering. För förstärkningarna behöver hållfasthet och styvhet bestämmas vilket kan vara problematiskt vid återanvändning, exempelvis av stockmattor (Figur 8:1 illustrerar detta behov). Ett exempel på användning av lastfördelande konstruktionselement ges i Figur 8:2.

I utformningen ska också tas hänsyn till om och hur de lastfördelande konstruktionselementen går att lägga ut och kan ligga kvar, i planerade lägen. Vid användning av lastfördelande konstruktionselement så måste också hänsyn tas till arbetsmiljön, exempelvis vad gäller halkrisiker och klämrisker.

Vid förekomst av finkornig jord i terrassen kan materialskiljande fiberduk eller lager behöva utläggas för att förhindra att terrassens jordlager blandar sig med plattformens lager.



Figur 8:2 Uppställning av en mobilkran med hjälp av lastsfördelande konstruktionselement.

8.2 Utförande

Under byggnationen av en arbetsplattform ska entreprenören arbeta på ett sätt som inte försämrar undergrundens bärighet mer än vad som förutsatts vid projektering. Trafikering av arbetsmaskiner på framschaktad terrass bör minimeras, exempelvis genom stängsel och andra tydliga anvisningar. Det är viktigt att maskinförare eller deras representanter medverkar vid arbetsberedning så att en arbetsordning kan tas fram som inte försämrar undergrunden men ändå är praktiskt genomförbar.

I arbetsbeskrivning bör bland annat framgå om/hur fyllningsmaterialet ska konditioneras, vilka packningsredskap som ska användas, vilka skikt-tjocklekar som ska tillämpas, om vattenbegjutning ska utföras och hur utläggning av fyllning ska utföras (ändtippning kan medföra risk för separation).

Eventuella avvikelser i byggnationen ska rapporteras till uppställningsansvarig. Det kan handla om avvikelser i utlagt material (mäktighet, kornstorleksfördelning), påträffade svaghetszoner som skiftats ut i undergrunden, avvikelser i packningsgrad och liknande.

8.3 Kontroll och underhåll

Terrassen som arbetsplattformen ska byggas på behöver besiktigas och, om föreskrivet, undersökas som ett led i kontrollen av att det som förutsattes vid dimensionering av arbetsplattformen stämmer med verkligheten. Exempel på avvikelser som kan behöva rapporteras är förekomst av tjälad jord, organisk jord, avvikande stora stenar och tecken på uppluckring.

Den som bygger arbetsplattformen behöver vara medveten om att jord är ett svårbedömt byggmaterial: ”När man bygger med stål, trä eller betong så är byggmaterialet väl känt. När man bygger med jord, till exempel en schakt, så är byggmaterialets (jordens) egenskaper endast stickprovvis undersökt. Jord är också ett svårbedömt byggmaterial därför att dess egenskaper i många fall förändras under den tid det tar att utföra en schakt, till exempel på grund av väderlek och ändringar i grundvattenförhållanden. Jordens egenskaper påverkas också av till exempel pålning och vibrationer från byggmaskiner.” (Lundström et al, 2015).

När arbetsplattformen ska tas i bruk behöver besiktningar, mätningar och andra kontroller utföras för att se om de faktiska förhållandena överensstämmer med de förutsättningar som gjordes vid dimensionering. Vidare behöver man följa upp att arbetsplattformen används på det sätt som var avsett i dimensioneringen. Likaså behöver man bevaka vad som händer på arbetsplatsen i övrigt som kan påverka arbetsplattformen.

I SS-EN 1997-1, Bilaga J, förtecknas de mer betydelsefulla punkter som bör beaktas vid byggkontroll eller uppföljning av beteendet hos en färdig geokonstruktion (exempelvis en arbetsplattform). I IEG Rapport 7:2008, Bilaga E.2, beskrivs informativt vad man bör tänka på när man tar fram en kontrollplan för ytgrundläggning. Bilagan rekommenderas som ett stöd i framtagandet av en kontrollplan som omfattar en arbetsplattform.

Mätningar som kan vara aktuella är mätningar av grundvattennivåer, mätningar av packningsgrad, plattförsök och mätningar på omgivande stödkonstruktioner. Om de undersöknings- eller dimensioneringsmetoder som används saknar väldokumenterat erfarenhetsunderlag (fall där det bör övervägas om GK3 ska tillämpas) kan det vara lämpligt att genom mätningar kontrollera arbetsplattformen, exempelvis genom provbelastning.

Svaga zoner kan uppkomma under den tid som arbetsplattformen används. Ledningar kan bli installerade i arbetsplattformen, schakter kan bli utförda och återfyllda, dräneringar kan bli igensatta, tunga upplag som orsakar sättningar kan bli anordnade och liknande.

Arbetsplattformen ska underhållas. Exempelvis kan marknivåer och fyllningar behöva återställas efter omfattande maskinflyttningar. Vatten och slam kan behöva tas bort och dräneringsvägar återställas.

9 Dimensionering

9.1 Standarder

Europastandarderna för dimensionering av bärverk till byggnader och anläggningar, Eurokoderna, finns som svenska standarder med nationella bilagor. De nationella bilagorna publiceras av Boverket och Transportstyrelsen. Geoteknikbranschen har genom organisationen IEG tagit fram ett antal tillämpningsdokument som beskriver hur dimensionering av geokonstruktioner kan utföras enligt Eurokoderna.

Eurokoderna för dimensionering av geokonstruktioner betecknas med SS-EN 1997 och en följsiffra. SS-EN 1997-1 utgör de allmänna reglerna för dimensionering av geokonstruktioner. Eurokoder för dimensionering av konstruktioner av trä, SS-EN 1995-1-1, och stål, SS-EN 1993, utgör regler för lastfördelande konstruktionselement. Den nationella bilaga som publiceras av Boverket betecknas förenklat med EKS och ett tal. EKS 11 är den nu (februari 2022) gällande bilagan.

För en arbetsplattform bör tillämpliga delar i SS-EN 1997-1 kapitel 5 (om fyllning, avvattning, jordförstärkning och jordarmering), SS-EN 1997-1 kapitel 6 (om plattgrundläggning), SS-EN 1995-1-1 (för lastfördelande konstruktionselement av trä) och SS-EN 1993 (för lastfördelande konstruktionselement av stål) användas.

Dimensioneringsätt 3 enligt SS-EN 1997-1 kapitel 2.4.7.3.4 bör användas. IEG Rapport 7:2008 (om plattgrundläggning) bör användas i tillämpliga delar.

I brottgränsberäkning (gränstillstånd STR/GEO enligt SS-EN 1990) bör laster från berörda maskiner betraktas som konstruktionslaster och beräknas enligt ekvation 6:10a och 6:10b i SS-EN 1990. Ekvation 6:10a och 6:10b är sammanställda och förklarade i ekvation 7:3 och 7:4 i IEG Rapport 2:2008 (om grunder för dimensionering av geokonstruktioner).

För framtagande av dimensionerande laster bör SS-EN 1991-3 användas i tillämpliga delar.

För dimensionering av en arbetsplattform för uppställning av en maskin behöver dimensionerande lastfördelningar tas fram. Målet är vanligen förenklade och tydligt beskrivna lastfördelningar med maximala grundtryck och belastade ytor.

Det finns en svensk standard med säkerhetskrav på borrhings- och grundläggningstrustningar, SS-EN 16228-1:2014. Standarden omfattar krav på hur egentyngder och andra laster ska beaktas och hur stabilitet ska kontrolleras. För larvburna maskiner anges vilka lastfördelningar från larv mot underlag (kontaktryck) som ska antas.

Beräkning enligt standarden inleds med anvisningar för bestämning av de mest ogynnsamma laster som maskinens olika delar (underrede, basmaskin, mast, motvikt och liknande) och arbetsmoment (lyft, slag och liknande) ger upphov till (gravitation, centrifugalkrafter, tröghetskrafter, andra dynamiska krafter) och påverkas av (vindlast, snölast och liknande). För beräkning av vertikala grundtryck beräknas från dessa laster resulterande vertikala laster till storlek och angreppspunkt.

Enligt standarden ska beräkning göras av de högsta grundtryck som kan uppstå för alla tänkbara transport- och arbetsmoment, med hänsyn till tillåtna marklutningar.

För larvburna maskiner anges definitioner av tippinjer (axlar i kontaktyta med underlag kring vilka stabilitet med hänsyn till tippning behöver kontrolleras) och vilka kontaktryck från larv mot underlag som ska antas. Vidare att hänsyn behöver tas till deformationer (sättningar) orsakade av last om dessa deformationer påverkar maskinens stabilitet i nämnvärd grad.

9.2 Geoteknisk kategori och säkerhetsklass

För att fastställa geotekniska krav på en geokonstruktion, exempelvis en arbetsplattform eller en markyta för uppställning av en maskin, har tre geotekniska kategorier, GK1, GK2 och GK3, införts enligt SS-EN 1997-1 (2.1). En första klassificering av geokonstruktionen, eller en del av geokonstruktionen, i geoteknisk kategori ska utföras innan de geotekniska undersökningarna utförs. Valet av kategori ska värderas och vid behov ändras i respektive fas av projektering och utförande. Att välja en högre kategori kan exempelvis göras på grund av de marktekniska förhållandena och vald konstruktionslösning. GK2 innefattar konventionella typer av konstruktioner utan

exceptionell risk eller svåra marktekniska- eller lastförhållanden. Se IEG Rapport 2:2008.

Säkerhetsklass (enligt den nationella tillämpningen av eurokoder) ska väljas med hänsyn till den risk för personskador som maskinuppställningen innebär. Det finns tre säkerhetsklasser: 1, 2 och 3. Högre säkerhetsklass innebär krav på högre säkerhet och därmed högre värde på dimensionerande last (för ogynnsamma laster). Säkerhetsklass ska väljas av projektören i samråd med beställaren, se IEG Rapport 2:2008. Exempel på maskinuppställning där val av säkerhetsklass 3 bör övervägas är maskinuppställning i närheten av trafikerad väg och järnväg.

Arbetsplattformar för berörda maskiner bör hänföras till som lägst GK2 och säkerhetsklass 2 i enlighet med Svensk Grundläggning (2020).

9.3 Dimensioneringskrav

Dimensionering av en arbetsplattform ska göras med hänsyn till de laster som aktuella maskiner ger upphov till vid framförande och aktuella arbeten. Det ska verifieras att brottgräns, bruksgräns (sättningar) och andra aktuella gränstillstånd inte överskrids i arbetsplattform och/eller undergrund.

Enligt SS-EN 1997-1 Kapitel 2 bör gränstillstånd kontrolleras genom beräkningar, hävdvunna åtgärder, modellförsök och provbelastning eller en observationsmetod eller en kombination av dessa åtgärder. Beräkningar, modellförsök och provbelastning för arbetsplattformar beskrivs i Kapitel 6 respektive 7. För hävdvunna åtgärder, se IEG Rapport 7:2008.

Vanligen är bruksgränstillståndet de största lutningarna (i olika riktningar) hos en maskin som kan accepteras. De största lutningarna kan vara beroende av aktuellt projekt och behöver då definieras för det projektet.

Det kan vara nödvändigt att verifiera att andra gränstillstånd, till exempel för glidning, inte överskrids.

9.4 Val av karakteristiska värden på egenskaper

Som underlag för verifiering av att gränstillstånd inte överskrids i arbetsplattform och undergrund bör arbetsplattformen och undergrunden (jordlagerföljden) karakteriseras av geotekniker. Karakteristiska värden på hållfasthets- och deformationsegenskaper i arbetsplattform och undergrund

bör tas fram. Samverkan med konstruktör eller annan person som ansvarar för laster från aktuell maskin kan behövas i detta arbete med hänsyn till de spänningar som förväntas uppstå i jorden från lasterna.

Referenser

- BRE, 2004, Working platforms for tracked plant: good practice guide to the design, installation, maintenance and repair of ground-supported working platforms, Building research establishment, England
- BRE, 2011, BR470 Working Platforms for Tracked Plant. Use of 'structural geosynthetic reinforcement' A BRE review seven years on
- Bergdahl, U., Ottosson, E., Malmborg, B., S., 1993, Plattgrundläggning
- Burd, H., Frydman, S., 1997, Bearing capacity of plane-strain footings on layered soils, Canadian Geotechnical Journal, April
- D'Ignazio, M., Di Buò, B., Länsivaara, T., 2015, A study on the behaviour of the weathered crust in the Perniö failure test", Proceedings of the XVI ECSMGE Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development, ISBN 978-0-7277-6067-8
- EFFC/DFI Guide to Working Platforms, 1st Edition January 2020, www.ffc.org, www.dfi.org
- Forsblad, L., 2000, Packning – Handbok om packning av jord- och bergmaterial, Svensk Byggtjänst
- Hanna, A., M., Meyerhof, G., G., 1979, Ultimate bearing capacity of foundations on a three-layered soil, with special reference to layered sand, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 16
- IEG Rapport 2:2008, Rev 3, Tillämpningsdokument – Grunderna EN 1997
- IEG Rapport 2:2010, Rapportering av geotekniska fältundersökningar (jord) – omfattning och fältprotokoll
- IEG Rapport 7:2008, Tillämpningsdokument – EN 1997-1 kapitel 6 Plattgrundläggning
- IEG Rapport 10:2010, Tillämpningsdokument EN 1997-2, Marktekniska undersökningar i fält och laboratorie
- Khan, M., A., 1993, Strength-Deformation Behaviour of a Weathered Clay Crust, Thesis, University of Ottawa, ISBN 0-315-89673-6
- Lees, A., S., 2020a, The bearing capacity of a granular layer on clay, Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Geotechnical Engineering 173(1), 13-20, <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/10.1680/jgeen.18.00116>
- Lees, A., S., 2020b, personlig kommunikation
- Lefebvre, G., Paré, J., Dascal, O., 1987, Undrained shear strength in the surficial weathered crust, 23- 34, Canadian Geotechnical Journal 24

- Lundström, K., Odén, K., Rankka, W., 2015, Schakta säkert – Säkerhet vid schaktning i jord, Svensk Byggtjänst och Statens geotekniska institut/SBUF
- Meyerhof, G., 1974, Ultimate bearing capacity of footings on sand layer overlying clay, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 11
- Miller, K., S., 2013, Technical Note on Use of BR470 in Soft Clay. Federation of Piling Specialists, https://www.fps.org.uk/content/uploads/2017/05/Technical_Note_on_Use_of_BR470_in_Soft_Clay.pdf, 2019-10-28
- Ringesten, B., 1988, Dry Crust: Its Formation and Geotechnical Properties, Doktorsavhandling, Chalmers Tekniska Högskola, ISSN 0326-718X
- Rudebeck, D., Rankka, W., 2022, Underlag om geotekniska beräkningsmetoder till skriften Säker uppställning av tunga maskiner, Digitala Vetenskapliga Arkivet (DiVA)
- SGF Rapport 2:2004, Nordisk Vägledning armerad jord och Fyllning, Svenska Geotekniska Föreningen
- SGF, 2013, Geoteknisk Fälthandbok, Rapport 1:2013
- SGI Information 8, 1989, Hållfasthet i friktionsjord, Larsson, R.
- SGI Information 1, 2008, Jords egenskaper, Larsson, R.
- Svensk Grundläggning, 2020, Säker Arbetsplattform – Riktlinjer, 2020, v1.0 2020-06-16, Svensk Grundläggning
- TK Geo 13, Trafikverkets tekniska krav för geokonstruktioner, Version 2.0, Dokument-ID TDOK 2013:0667, Dokumentdatum 2016-02-29
- Topolnicki, M., Wäger, J., Schweizer, S., Koller, A., Brzozowski, T., Sołtys, G., et al., 2021, Technical paper: Field test verification of ground bearing pressure under rig tracks and implications for working platform design, Ground Engineering, <https://www.geplus.co.uk/technical-paper/technical-paper-field-test-verification-of-ground-bearing-pressure-under-rig-tracks-and-implications-for-working-platform-design-08-04-2021/>
- TR-Geo 13, Trafikverkets tekniska råd för geokonstruktioner, Version 1.0, Dokument-ID TDOK 2013:0668, Dokumentdatum 2014-05-01
- TWf, 2019, Working Platforms Design of granular working platforms for construction plant A guide to good practice, TWf2019:2, First published April 2019, Temporary Works Forum, c/o Institution of Civil Engineers, One Great George Street, London, SW1P 3AA, England, www.twforum.org.uk
- Vägverket (1994). Yttäckande packningskontroll, Metodbeskrivning 603:1994 (VV Publikation 1994:76).
- Vägverket, 2006. Provgropsundersökning (VV Publikation 2006:59).

Bilagor

Bilaga 1

Beräkningsexempel, dimensionering uppställning pålkran i brottgräns (ULS)

Bilaga 2

Exempel entreprenadteknisk specifikation, påkransuppställning

Bilaga 3

Beräkningsexempel, dimensionering uppställning mobilkran i brottgräns (ULS)

Bilaga 4

Exempel entreprenadteknisk specifikation, mobilkransuppställning

Bilaga 5

Exempel - Checklista inför produktionsstart Uppställning av tung maskin

Bilaga 1 – Beräkningsexempel, dimensionering uppställning pålkran i brottsgräns

Inledning

Nedan beräkningsexempel avser uppställning av pålkran ovan lera med låg odränerad skjuvhållfasthet med förstärkning av ett fyllnadslager. Pålkranen antas vara uppställd ovan stockmattor där stockmattorna är utlagda vinkelrätt larvernas riktning. Då sättningsberäkningar enbart berörs översiktligt i skriften har differenssättnings inverkan på excentriciteten ansatts vara försumbar.

Jordens bärförmåga baseras för detta beräkningsexempel på kapitel 6.4.4.1 (BR470-metoden med komplement från Miller)* och stockmattornas strukturella bärförmåga baseras på kapitel 6.2-6.3 avseende styv platta. Andra beräkningsmetoder enligt kapitel 6 kan anses lämpliga och val av analysmetod beslutas av geokonstruktör utifrån specifika förutsättningar och/eller i samråd med beställare.

*Beräkningsmetoden saknar underbyggnad i publicerad litteratur (teoretisk och/eller med fysisk provning) för lastbredder motsvarande aktuell bredd. I Sverige finns dock praktisk erfarenhet av metoden för dimensionering av arbetsplattformar för maskiner på västsvenska leror med $c_u > 10$ kPa.

Indata – Pålkran

Pålkran – Junttan PM20
 Totalvikt inkl. påle: 68 435 kg (pålvikt: 2 800 kg, hejarvikt: 5 000 kg)
 Maximalt utligger påle: 800 mm, vertikala pålar
 Bärande larvlängd: 4 155 mm
 Bärande larvbredd: 900 mm
 c/c larver: 3 600 mm

Indata – Stockmattor

Längd: 6,0 m
 Bredd: 0,9 m/matta
 Tjocklek: 8"

Indata – Jord

Karakteristisk odränerad skjuvhållfasthet, lera: $c_{sk} = 15$ kPa
 Karakteristisk friktionsvinkel fyllning: $\phi'_v = 42^\circ$
 Tunghet fyllning: $\gamma_s = 20/11$ kN/m³

Antaganden

- Säkerhetsklass 2 ($\gamma_s = 0,91$)
- Geoteknisk kategori 2
- Fyllning läggs ut ovan lerterrass
- Fyllningen förutsätts vara "torr", fri grundvattenyta belägen i lerans överkant
- Brottet i leran förutsätts vara odränerat
- "Vingelmån" för uppställning: $\pm 0,10$ m

Arbetsgång

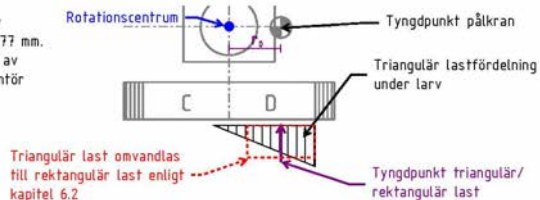
- Dimensionerande last från maskin
- Kritisk area, kontakttryckfördelning lastfördelande konstruktionselement
- Kontroll lasteffekt och kapacitet för lastspredande konstruktion (moment/tvärkraft)
- Bestäm fyllningens bärförmåga
- Bestäm undergrundens bärförmåga
- Bestäm underskott hos undergrundens bärförmåga = behov stansningsmotstånd
- Bestäm minsta mäktighet för fyllningen

Dimensionerande last från maskin

För att beräkna laster från larver och motsvarande grundtryck krävs tillräcklig data från kranleverantör. För aktuellt fall finns fullständig lastspecifikation tillgänglig vilket möjliggör beräkning av pålkranens excentricitet (tyngdpunktens förskjutning från undervagnens geometriska centrum). Rotationscentrum sammanfaller med undervagnens geometriska centrum.

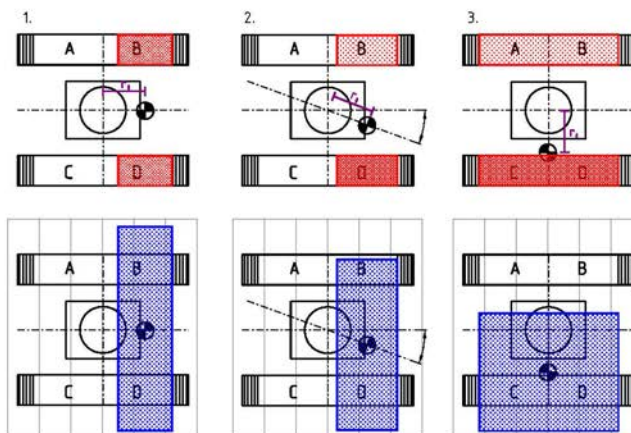
För att beräkna kritiskt grundtryck antas rotation av övervagnen medföra att tyngdpunktens läge förflyttas i en cirkel med radien r_s runt rotationspunkten.

Kraninställning enligt ovan medför förskjutning av tyngdpunkten från grundläget (0° rotation), $r_s = 977$ mm. Tyngdpunktens grundläge kan beräknas med hjälp av antingen fullständig kran-specifikation från leverantör eller genom specifikt beräknat kontakttryck (exempelvis triangellast) vid 0° rotation, se exempel till höger.



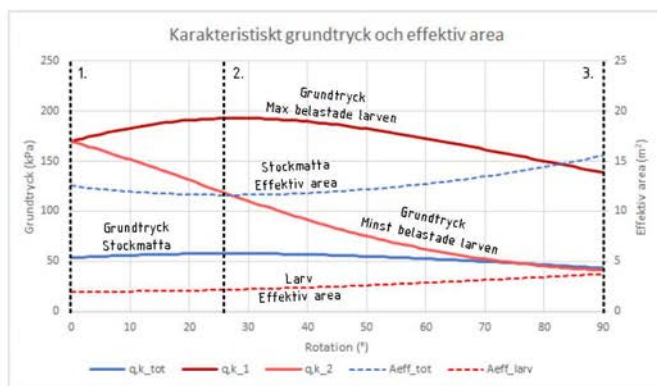
Figuren nedan visualiserar grundtryck under larv och lastfördelande konstruktionselement (stockmattor) för tre olika rotationer. Nedan lastfördelning förutsätter antagande att lastfördelande konstruktionselement beter sig som en styv platta enligt kapitel 6.3.

1. 0° rotation
2. 26° rotation (kritiskt grundtryck under stockmattor)
3. 90° rotation



Effektiv area för stockmattor bestämt geometriskt utifrån tyngdpunktens läge, larvernas bärande längd och ansatt vingelmån.

Stockmattornas strukturella bärförmåga kontrolleras för kritiskt grundtryck (2.).



Dimensionerande last (konstruktionslast) enligt SS-EN 1990 ekvation 6.10b.

Kranvikt betraktas som variabel huvudlast i enlighet med rekommendationer från Svensk Grundläggning.

$$E_{d,i} = \gamma_d \cdot 0,89 \cdot 1,35 \cdot G_{k,i,exp} + \gamma_d \cdot 1,5 \cdot Q_{k,1} + \gamma_d \cdot 1,5 \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (6.10b, EN 1990) \quad \text{Urklipp ur IEG Rapport 2:2008, Rev 3}$$

$$G_{k,exp} = 0$$

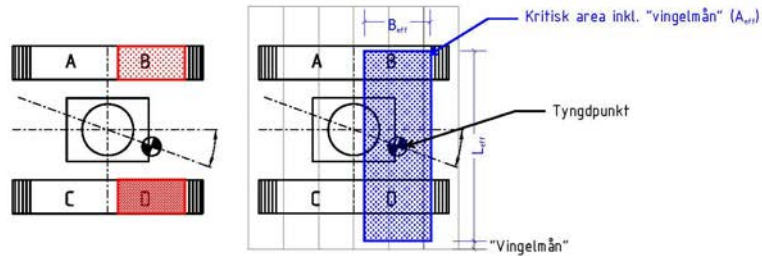
$$Q_{k,1} = 68\,435 \text{ kg} = 671 \text{ kN}$$

$$Q_{k,i} = 0$$

$$Q_{k,d} = 0,91 \cdot 1,5 \cdot 671 = 916 \text{ kN}$$

Kritisk area, lastfördelande konstruktionselement

Rotation av tyngdpunkten som medför största grundtryck (kritisk area) under aktuell uppställning inkl. "vingelmån" är 26°. Schematisk lastfördelning enligt nedan.



$$B_{crit} = 2,40 \text{ m}$$

$$L_{crit} = 4,94 \text{ m (5,14 m exkl. "vingelmån")}$$

Den effektiva arean (A_{crit}) beror på kranens utformning och behöver studeras separat för varje enskild kran och kan dessutom vara olika för en kran i olika situationer (med eller utan påle; vertikal eller lutande gejder, osv).

$$\text{Dimensionerande grundtryck } q_{crit,d} = Q_{crit,d}/A_{crit} = 916/(2,4 \cdot 4,94) = 77,3 \text{ kPa}$$

Kontroll lasteffekt och kapacitet för lastfördelande konstruktionselement (moment/tvärfkraft)

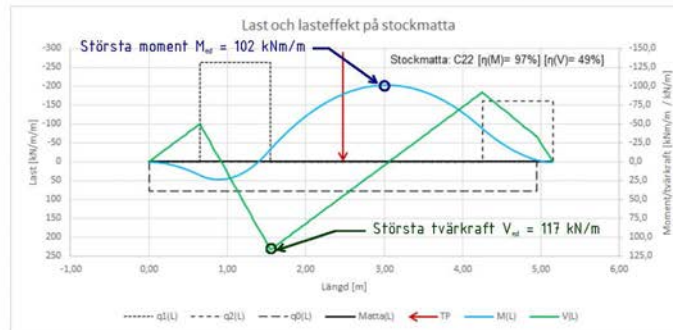
Andel last under mest belastade larv vid kritisk rotation: 62%, $Q_{1,d} = 0,62 \cdot 916 = 568 \text{ kN}$

Andel last under minst belastade larv vid kritisk rotation: 38%, $Q_{2,d} = 0,38 \cdot 916 = 348 \text{ kN}$

Kontakttryck mot stockmatta från jord över kritisk area, $q_{crit,d} = 77,3 \text{ kPa}$ (dimensionerande grundtryck)

Kontakttryck mot stockmatta från larv för mest belastade larv, $q_{1,d} = Q_{1,d}/(B_{crit} \cdot B_{matt}) = 263 \text{ kPa}$

Kontakttryck mot stockmatta från larv för minst belastade larv, $q_{2,d} = Q_{2,d}/(B_{crit} \cdot B_{matt}) = 162 \text{ kPa}$



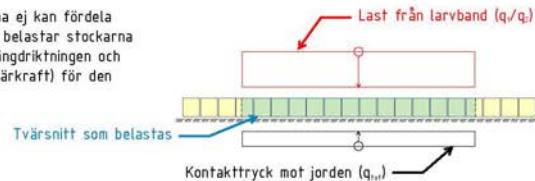
Övriga studerade rotationer

Rotation *	Tvärfkraft kN/m	Moment kNm/m
16	113	95
18	114	97
20	115	99
22	116	100
24	116	101
26	117	102
28	117	102
30	117	102
32	117	103
34	117	102
36	116	102

Beräknad lasteffekt för stockmatta vid rotation för kritisk area (26°), uttryckt i lasteffekt/m.

För strukturell lasteffekt kan andra rotationer bli kritiska och behöva studeras närmare, se tabell ovan.

Ovan lastspridningsfilosofi baseras på att stockmattorna ej kan fördela last i tvärdet oberoende av hur lasten från larvbanden belastar stockarna individuellt, se figur till höger. Lastspridningen sker i längdriktningen och kontrolleras för ovan kritisk lasteffekt (moment och tvärfkraft) för den del av stockmattan som belastas.



Kapacitet för stockmattor som lastfördelnde konstruktionselement enligt nedan (SS-EN 1995-1-1: 2004).

Moment

$$M_{ed} = f_{td} \cdot W \cdot k_{cr} \quad | \quad M_{ed} = 103 \text{ kNm/m}$$

$$W = b \cdot h^2 / 6$$

$$k_{cr} = 1,0 \text{ (ingen risk för vippning)}$$

$$f_{td} = k_{mod} \cdot f_{tdk} / \gamma_{ft}$$

$$k_{mod} = 0,9 \text{ (kort lastvaraktighet, klimatklass 3)}$$

$$\gamma_{ft} = 1,3 \text{ (konstruktionsvirke)}$$

f_{tdk} = karakteristisk värde för bärförmåga (böjning parallellt fibrerna)

$$M_{ed} > M_{ef} \rightarrow f_{td} > M_{ed} \cdot \gamma_{ft} / (k_{mod} \cdot W \cdot k_{cr})$$

$$W = 1,0 \cdot (8 \cdot 0,0254^2) / 6 = 0,0069 \text{ m}^3/\text{m} \text{ (uttrycks per meter för att jämföras med lasteffekt)}$$

$$f_{tdk} > 103 \cdot 1,3 / (0,9 \cdot 0,0069 \cdot 1,0) > 21,6 \text{ MPa}$$

Välj min materialkvalitet C22 enligt tabell nedan

Table 1 — Strength classes for softwood based on edgewise bending tests - strength, stiffness and density values

	Class	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Strength properties in N/mm²													
Bending	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Tension parallel	$f_{t,k}$	7,2	8,5	10	11,5	13	14,5	16,5	19	22,5	26	30	33,5
Tension perpendicular	$f_{t90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Compression parallel	$f_{c,k}$	16	17	18	19	20	21	22	24	25	27	29	30
Compression perpendicular	$f_{c90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,5	2,7	2,7	2,8	2,9	3,0
Shear	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0

Urklipp ur SS-EN 338: 2016

Tvärkraft

$$V_{ed} = f_{td} \cdot A / 1,5 \quad | \quad V_{ed} = 117 \text{ kNm/m}$$

$$A = b \cdot h \cdot k_{cr}$$

$$k_{cr} = 0,67 \text{ (konstruktionsvirke, momentbelastat tvärsnitt)}$$

$$f_{td} = k_{mod} \cdot f_{tdk} / \gamma_{ft}$$

f_{tdk} = karakteristisk värde för bärförmåga (längsskjuvning)

Kontrollera vald hållfasthetsklass (C20) avseende tvärkraft

$$V_{ed} = 0,9 \cdot 3,8 \cdot 1,0 \cdot 8 \cdot 0,0254 \cdot 0,67 / 1,5 / 1,3 = 239 \text{ kN/m} > V_{ed}$$

Moment- och tvärkraftskapacitet tillräcklig för vald hållfasthetsklass C22

Fyllningens bärförmåga enligt allmänna bärlinjeekvationen

Beräkna fyllningens dimensionerande bärförmåga, fyllningens bärförmåga måste vara tillräcklig för att bära lasten.

$$q_d > q_{n,d}$$

$$q_d = 0,5 \cdot \gamma'_s \cdot B \cdot N_{90} \cdot s_y \text{ (kPa)}$$

$$s_y = 1 - 0,4(B/L)$$

B = effektiv bredd

$$\gamma'_s = 20 \text{ kN/m}^3 \text{ (torra massor)}$$

N_{90} = bärliniefaktor (funktion av friktionsvinkeln)

$$\text{Dimensionerande friktionsvinkel, } \theta'_s = \text{atan}(\tan(\theta'_s) / \gamma_{ft}) = \text{atan}(\tan(42) / 1,3) = 34,7^\circ$$

$$N_{90}(\theta'_s) = 32,7 \text{ (IEG Rapport 7:2008)}$$

$$q_u = 0,5 \cdot 20 \cdot 2,4 \cdot 32,7 \cdot (1 - 0,4 \cdot (2,4/4,94)) = 632 \text{ kPa} > q_{ult}$$

Fyllningens bärförmåga är tillräckligt stor för att bära lasten.

Undergrundens bärförmåga enligt allmänna bärlagsekvationen

Beräkna dimensionerande bärförmåga i undergrunden (leran). Är lerans bärförmåga ej tillräcklig krävs fyllning för att uppnå tillfredsställande vertikal bärförmåga.

$$q_u = c_{ul} \cdot N_c \cdot s_c \quad (\text{kPa})$$

$$c_{ul} = c_{ul} / \gamma_H = 15 / 1,5 = 10 \text{ kPa}$$

$$N_c = \pi \cdot 2 = 5,14$$

$$s_c = 1 + 0,2(B/L)$$

$$Q_u = 10 \cdot 5,14 \cdot (1 + 0,2 \cdot (2,4/4,94)) = 56,4 \text{ kPa} < q_{ult}$$

Undergrundens bärförmåga är ej tillräcklig för att bära lasten, fyllning krävs.

Behov av stansningsbidrag (underskott bärförmåga hos undergrund)

Bestäm storleken på behov av stansningsmotstånd, q_s .

$$q_s = q_u - q_u$$

$$q_s = 77,3 - 56,4 = 20,9 \text{ kPa}$$

Fyllningen måste utföras tillräckligt mättig för att ge tillräckligt stansningsmotstånd, q_s .

Bestäm minsta mättighet för fyllning enligt kapitel 6.4.4.1 - BR470-metoden med komplement från Miller (2013)

$$q_{ult} = q_u + \underbrace{\gamma'_s \cdot H^2 \cdot K_p \cdot \tan(\delta)}_{= q_s} \cdot s_p \cdot \mu / B$$

$$\gamma'_s = 20 \text{ kN/m}^3$$

H = fyllningens mättighet

K_p = jordtryckscoefficient för passivt jordtryck

$$\delta = 2 \cdot \beta' / 3$$

$$s_p = 1 + B/L$$

$$\mu = 0,17 \cdot \ln(q_u / q_s) + 1,2 \quad (\text{korrektionsfaktor, Miller 2013})$$

Bestäm K_p för plan markyta enligt SS-EN 1997-1:2005 figur C.2.1

$$K_p(\beta') = 7,0 \quad (\text{figur till höger})$$

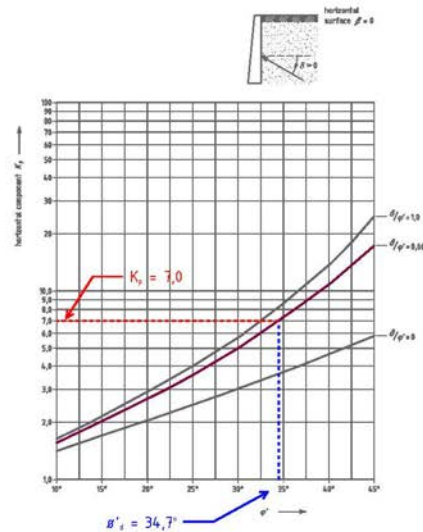
$$\mu = 0,17 \cdot \ln(56,4/632) + 1,2 = 0,79$$

Lös ut H ur uttrycket $q_u = \gamma'_s \cdot H^2 \cdot K_p \cdot \tan(\delta) \cdot s_p \cdot \mu / B$

$$H = \sqrt{\frac{q_s \cdot B}{\gamma'_s \cdot K_p \cdot \tan(\delta) \cdot s_p \cdot \mu}}$$

$$H = \sqrt{\frac{20,9 \cdot 2,4}{20 \cdot 7 \cdot \tan\left(\frac{2}{3} \cdot 34,7\right) \cdot (1 + \frac{2,4}{4,94}) \cdot 0,79}} = 0,85 \text{ m}$$

Välj minsta mättighet fyllning 0,85 m



Urklipp ur SS-EN 1997-1:2005, figur C.2.1

Bilaga 2 – Exempel entreprenadteknisk specifikation, pålkransuppställning

FÖRUTSÄTTNINGAR

ALLMANT

GEOTEKNISKA FÖRUTSÄTTNINGAR ENLIGT VIDSTÅENDE MARKTEKNISK UNDERSÖKNINGSRAPPORT (MUR/GE0).

FÖRVÄNTAD JORDPROFIL ENLIGT TYPSEKTIONER.

SÄKERHETSON ZON KRING PÅLKRAN ENLIGT ARBETSPLATSENS BESTÄMMELSER
ALTERNATIVT KRANLEVERANTÖRENS ANVISNINGAR.

SÄKERHETSKLASS: SK2
GEOTEKNISK KATEGORI: GK2

LASTER

PÅLKRAN: JUNTAN PM20

TOTAL KRANVIKT: 68,4 ton INKL. HEJARE PÅ MAX 5,0 ton OCH PÅLELEMENT MAX 2,8 ton.

FÖRESKRIFTER

ALLMANT

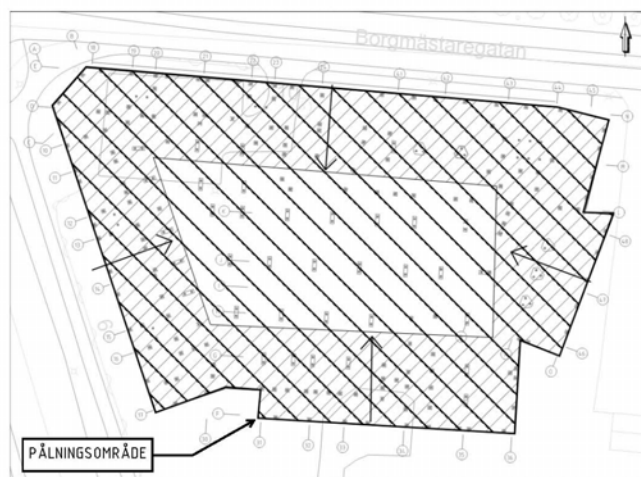
DENNA HANDLING GÄLLER FÖR INSTALLATION AV PÅLAR INOM ANVISAT PÅLNINGSOMRÅDE, SE ÖVERSIKTSPLAN FÖR LOKALISERING. PÅLNING UTFÖRS MED VERTIKALA PÅLAR ENLIGT PÅLPLAN. LASTER ENLIGT OVAN OCH DIMENSIONER FÖR PÅLKRAN ENLIGT TYPSEKTIONER.

STOCKMATTOR

STOCKMATTOR SKA VARA OSKADADE OCH $L_{min} = 6,0$ m, TJOCKLEK = 8", SAMT LÄGST AV KVALITET C22.

FYLLNING

FYLLNING UTFÖRS MED SAMKROSS AV FRAKTION 0-90 mm ELLER LIKVÄRDIG.
FYLLNINGENS MÄKTIGHET SKA VARA MIN 0,70 m OCH SKA PACKAS I ENLIGHET MED ANLÄGGNINGS AMA 21, TABELL CE/4.



ÖVERSIKTSPLAN
1:800

ANVISNINGAR

PÅLKRAN SKA PLACERAS ENLIGT VIDSTÅENDE TYPSEKTIONER.

PÅLKRAN SKA PLACERAS PÅ STOCKMATTOR SOM LÄGGS UT OVAN FYLLNINGEN ENLIGT VIDSTÅENDE TYPSEKTIONER. PÅ TERRASSBOTTEN SKA LÖSA JORDLAGER AV T.EX. MULLJORD ELLER EJ PACKNINGSBAR FYLLNING SCHAKTAS UR INNAN UTLÄGGNING OCH PACKNING AV FYLLNINGEN.

STOCKMATTOR SKA PLACERAS VINKELRÄTT LARVERNAS RIKTNING SAMT PLACERAS INTILL VARANDRA.

PÅLKRAN SKA PLACERAS CENTRISKT OVAN STOCKMATTOR. KRANENS LARVER FÅR EJ BELASTA STOCKMATTOR NÄRMARE ÄN 0,65 m FRÅN STOCKMATTORNAS KANT, SE TYPSEKTION 1.

STOCKMATTOR SKA PLACERAS UT OVAN FYLLNING PÅ HELT PLAN YTA.

MARKYTAN INOM MIN 5,0 m AVSTÅND FRÅN UPPLAGSKONSTRUKTIONEN SKA VARA I NIVÅ MED PÅLKANSUPPSTÄLLNINGEN ELLER HÖGRE. SCHAKTER INOM 10,0 m AVTÅND FRÅN UPPLAGSKONSTRUKTIONEN SKA GODKÄNNAS AV ANSVARIG GEOKONSTRUKTÖR.

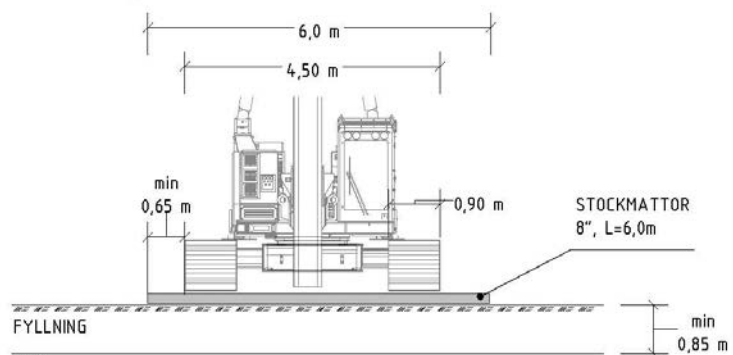
VID MISSTANKE OM ATT FULLGOTT PACKNINGRESULTAT EJ UPPNÅTTS FÖR FYLLNINGEN SKA PACKNINGSGRADEN KONTROLLERAS. VID AVVIKANDE PACKNINGRESULTAT TAS BESLUT OM ÅTGÄRD I SAMRÅD MED ANSVARIG GEOKONSTRUKTÖR.

PÅLKRAN SKA TRANSPORTERAS OVAN STOCKMATTOR MED SAMMA MÅTT OCH KVALITET SOM GÄLLER FÖR PÅLNINGSUTFÖRANDET, SE TYPSEKTION 1. ALTERNATIVT UTFÖRANDE FÖR TRANSPORTSKEDET UTREDS I SAMRÅD MED ANSVARIG GEOKONSTRUKTÖR.

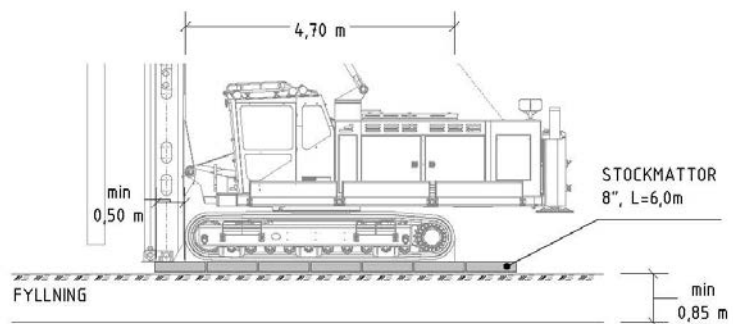
ÖVRIGT

VID AVVIKANDE FÖRUTSÄTTNINGAR KONTAKTAS ANSVARIG GEOKONSTRUKTÖR SAMT UPPSTÄLLNINGSANSVARIG FÖR BESLUT OM ÅTGÄRD.

PÅLKRAN TAS UR DRIFT VID VINDHASTIGHETER ENLIGT KRANLEVERANTÖRENS ANVISNINGAR.



TYPSEKTION 1
1:100



TYPSEKTION 2
1:100

Bilaga 3 – Beräkningsexempel, dimensionering uppställning mobilkran i brottgräns (ULS)

Inledning

Nedan beräkningsexempel avser uppställning av mobilkran med samma jordprofil som presenterades i beräkningsexempel i Bilaga 1. Andra beräkningsmetoder enligt kapitel 6 kan anses lämpliga och val av analysmetod beslutas av geokonstruktör utifrån specifika förutsättningar och/eller i samråd med beställare. Kranleverantören antas tillhandahålla balkflak ("madrasser") som är verifierat styva nog att sprida lasten på hela ytan samt är dimensionerade för aktuella stödbenslaster. I följande exempel är det inte tillräckligt att endast använda balkflak samt den utlagda fyllningen (0,85 m) för att uppnå tillräcklig bärförmåga i den underliggande leran utan ytterligare åtgärder krävs. Två förslag på åtgärder för att uppnå erforderlig säkerhetsnivå presenteras i detta exempel:

- 1) Ytterligare fyllning + balkflak
- 2) Stockmattor + balkflak

Indata – Mobilkran

Mobilkran – Liebherr LTM 1095-5.1
Maximal stödbenslast – 43 ton

Indata – Stockmattor

Bredd: 0,9 m/matta
Tjocklek: 8"

Indata – Balkflak

Area: 2,0 x 2,4 m²
Tjocklek: 0,25 m

Indata – Jord

Karakteristisk odränerad skjuvhållfasthet, lera: $c_{vk} = 15$ kPa
Karakteristisk friktionsvinkel fyllning: $\varphi'_{vk} = 42^\circ$
Tunghet fyllning: $\gamma_s = 20/11$ kN/m³

Antaganden

- Säkerhetsklass 2 ($\gamma_s = 0,91$)
- Geoteknisk kategori 2
- Jordprofil enligt exempel X.1 med 0,85 m fyllning ovan lera
- Fyllningen förutsätts vara "torr", fri grundvattenyta belägen i lerans överkant
- Brottet i leran förutsätts vara odränerat

Arbetsgång

- Bestäm dimensionerande last från mobilkran
- Bestäm fyllningens bärförmåga
- Bestäm undergrundens bärförmåga för aktuell lastspridningsarea
- Bestäm underskott hos undergrundens bärförmåga = behov stansningsbidrag alt. bestäm stansningsbidrag från befintlig fyllning
- Bestäm minsta mäktighet för fyllningen om mäktigheten behöver ökas
- Kontroll lasteffekt och kapacitet för lastfördelande konstruktionselement (moment/tvärkraft)

Dimensionerande last från mobilkran

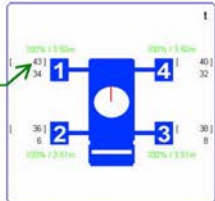
Dimensionerande last för mobilkran enligt SS-EN 1990 ekvation 6.10b (konstruktionlast). *Urklipp ur IEG Rapport 2:2008, Rev 3*

$$E_d = \gamma_d \cdot 0,89 \cdot 1,35 \cdot G_{k, sup} + \gamma_d \cdot 1,5 \cdot Q_{k,1} + \gamma_d \cdot 1,5 \cdot \psi_{0,j} \cdot Q_{k,j} \quad (6.10b, EN 1990)$$

Den maximala stödbenslasten anses vara variabel huvudlast.

$G_{k, sup} = 0$
 $Q_{k,1} = 43$ ton

$Q_{k,j} = 0,91 \cdot 0,89 \cdot 1,35 \cdot 0 \cdot 9,81 + 0,91 \cdot 1,5 \cdot 43 \cdot 9,81 = 576$ kN



Lastspecifikation mobilkran

Bestäm fyllningsmaktighet för mobilkranen**1) Lösningalternativ 1: ytterligare fyllning + balkflak**

Tillgängliga balkflak (från kranleverantören) : $B \times L = 2,0 \times 2,4 \text{ m}^2$.
Maktighet på befintlig fyllning (enligt exempel X.1) : 0,85 m.

Dimensionerande grundtryck för aktuellt fall: $q_{\text{v},d} = Q_{\text{v},d}/A_{\text{eff}} = 576/(2,0 \times 2,4) = 120 \text{ kPa}$

Fyllningens bärförmåga enligt allmänna bärlighecksrelationen

Beräkna fyllningens dimensionerande bärförmåga, fyllningens bärförmåga måste vara tillräcklig för att bära lasten.
 $q_p > q_{\text{v},d}$

$$q_p = 0,5 \cdot \gamma'_s \cdot B \cdot N_{sp} \cdot s_p \quad (\text{kPa})$$

$$s_p = 1 - 0,4(B/L)$$

B = effektiv bredd

$\gamma'_s = 20 \text{ kN/m}^3$ (torra massor)

N_{sp} = bärlighecksfaktor (funktion av friktionsvinkeln)

$$\text{Dimensionerande friktionsvinkel, } \beta'_d = \arctan(\tan(\beta'_s)/\gamma_{m1}) = \arctan(\tan(42)/1,3) = 34,7^\circ$$

$$N_{sp}(\beta'_d) = 32,7 \quad (\text{IEG Rapport 7:2008})$$

$$q_p = 0,5 \cdot 20 \cdot 2,0 \cdot 32,7 \cdot (1 - 0,4 \cdot (2,0/2,4)) = 436 \text{ kPa} > q_{\text{v},d}$$

Fyllningens bärförmåga är tillräckligt stor för att bära lasten.

Undergrundens (lerans) bärförmåga enligt allmänna bärlighecksrelationen

Beräkna dimensionerande bärförmåga i undergrunden (leran).

$$q_u = c_{u,d} \cdot N_c \cdot s_c \quad (\text{kPa})$$

$$c_{u,d} = c_{u,s}/\gamma_m = 15/1,5 = 10 \text{ kPa}$$

$$N_c = \pi + 2 = 5,14$$

$$s_c = 1 + 0,2(B/L)$$

$$Q_u = 10 \cdot 5,14 \cdot (1 + 0,2 \cdot (2,0/2,4)) = 60 \text{ kPa} < q_{\text{v},d}$$

Undergrundens bärförmåga är ej tillräcklig för att bära lasten, fyllning krävs

Behov av stansningsmotstånd (underskott bärförmåga hos undergrund)

Bestäm storleken på behov av stansningsmotstånd, q_s .

$$q_s = q_u - q_u$$

$$q_s = 120 - 60 = 60 \text{ kPa}$$

Fyllningen måste utföras med en maktighet som innebär att tillräckligt stansningsmotstånd q_s erhålles. Befintlig fyllning har en maktighet på 0,85 m. Om maktigheten på fyllningen som krävs är > 0,85 m behövs extra fyllning.

Bestäm minsta mäktighet på fyllningen enligt kapitel 6.4.4.1 – BR470-metoden med komplement från Miller (2013)*

$$q_{u,0} = q_0 + \underbrace{\gamma'_s \cdot H^2 \cdot K_p \cdot \tan(\delta)}_{= q_0} \cdot s_p \cdot \mu / B$$

$$\gamma'_s = 20 \text{ kN/m}^3$$

H = fyllningens mäktighet

K_p = jordtryckscoefficient för passivt jordtryck

$$\delta = 2 \cdot \alpha' / 3$$

$$s_p = 1 + B/L$$

$$\mu = 0,17 \cdot \ln(q_0 / q_s) + 1,2 \text{ (korrektionsfaktor, Miller 2013)}$$

Bestäm K_p för plan markyta enligt SS-EN 1997-1:2005 figur C.2.1

$$K_p(\alpha'_s) = 7,0 \text{ (figur till höger)}$$

$$\mu = 0,17 \cdot \ln(60/4,36) + 1,2 = 0,86$$

Lös ut H ur uttrycket $q_u = \gamma'_s \cdot H^2 \cdot K_p \cdot \tan(\delta) \cdot s_p \cdot \mu / B$

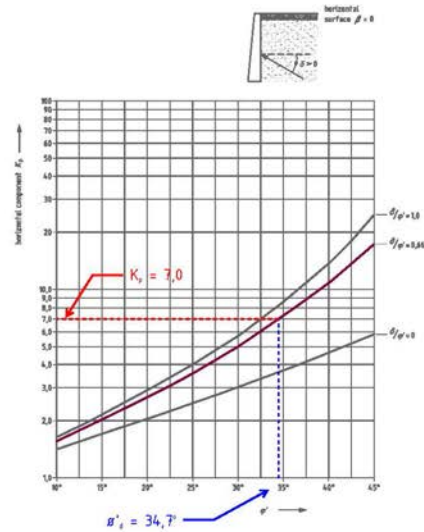
$$H = \sqrt{\frac{q_u \cdot B}{\gamma'_s \cdot K_p \cdot \tan(\delta) \cdot s_p \cdot \mu}}$$

$$H = \sqrt{\frac{60 \cdot 2,0}{20 \cdot 7 \cdot \tan\left(\frac{2}{3} \cdot 34,7 \text{ deg}\right) \cdot \left(1 + \frac{2,0}{2,4}\right) \cdot 0,86}} = 1,15 \text{ m}$$

Minsta mäktighet på fyllningen: 1,15 m.

Befintlig fyllningsmäktighet: 0,85 m.

Det krävs ytterligare 0,3 m fyllning.



Urklipp ur SS-EN 1997-1:2005, figur C.2.1

* Beräkningsmetoden saknar underbyggnad i publicerad litteratur (teoretisk och/eller med fysisk provning) för lastbredder motsvarande aktuell bredd. I Sverige finns dock praktisk erfarenhet av metoden för dimensionering av arbetsplattformar för maskiner på västsvenska leror med $c_u > 10$ kPa.

1) Lösningalternativ 2: stockmattor + balkflak ovan befintlig fyllning

För att bestämma vilken area som krävs för en upplagskonstruktion för att erforderlig bärlighet skall uppnås i undergrunden tillämpas en iterativ process där en area antas och kontrolleras. I nedan exempel redovisas resultaten av den iterativa processen. I exemplet är bredden av upplagskonstruktionen fastställd till två stockmattors bredd. Längden har ansatts och kontrolleras enligt principen nedan.

Tillgängliga balkflak (från kranleverantören) : $2,0 \times 2,4 \text{ m}^2$.

Stockmattor: bredd 0,9 m/matta

Antagen längd för lastspridande konstruktionselement som kontrolleras: 4,0 m

Måktighet på befintlig fyllning (enligt Bilaga 1) : 0,85 m.

Två stockmattor bredvid varandra innebär att den totala bredden är 1,8 m. Det är denna bredden som utnyttjas i följande beräkningar. Stockmattorna antas ha erforderlig styvhet för att kunna fördela kontakttrycket jämnt över hela kontaktarean.

Dimensionerande grundtryck för aktuellt fall: $q_{\text{ver},d} = Q_{\text{ver},d}/A_{\text{ver}} = 576/(1,8 \times 4,0) = 80 \text{ kPa}$

Fyllningens bärförmåga enligt allmänna bärlighetsekvationen

$$q_r > q_{\text{ver},d}$$

$$q_r = 0,5 \cdot \gamma'_s \cdot B \cdot N_{\text{gr}} \cdot s_y \quad (\text{kPa})$$

$$s_y = 1 - 0,4(B/L)$$

B = effektiv bredd

$\gamma'_s = 20 \text{ kN/m}^3$ (torra massor)

N_{gr} = bärlighetsfaktor (funktion av friktionsvinkeln)

$$\text{Dimensionerande friktionsvinkel, } \beta'_s = \arctan(\tan(\beta'_s)/\gamma'_s) = \arctan(\tan(42)/1,3) = 34,7^\circ$$

$$N_{\text{gr}}(\beta'_s) = 32,7 \quad (\text{IEG Rapport 7:2008})$$

$$q_r = 0,5 \cdot 20 \cdot 1,8 \cdot 32,7 \cdot (1 - 0,4 \cdot (1,8/4,0)) = 482,7 \text{ kPa} > q_{\text{ver},d}$$

Undergrundens (lerans) bärförmåga enligt allmänna bärlighetsekvationen

Beräkna dimensionerande bärförmåga i undergrunden (leran).

$$q_u = c_{\text{ud}} \cdot N_c \cdot s_c \quad (\text{kPa})$$

$$c_{\text{ud}} = c_u/\gamma_{\text{gr}} = 15/1,5 = 10 \text{ kPa}$$

$$N_c = \pi + 2 = 5,14$$

$$s_c = 1 + 0,2(B/L)$$

$$q_u = 10 \cdot 5,14 \cdot (1 + 0,2 \cdot (1,8/4,0)) = 56 \text{ kPa} < q_{\text{ver},d}$$

Stansningsmotstånd från 0,85 m fyllning enligt kapitel 6.4.4.1 – BR470-metoden med komplement från Miller (2013)

$$q_s = \gamma'_s \cdot H^2 \cdot K_p \cdot \tan(\delta) \cdot s_s \cdot \mu/B$$

$$\gamma'_s = 20 \text{ kN/m}^3$$

H = fyllningens måktighet

K_p = jordtryckscoefficient för passivt jordtryck

$$\delta = 2 \cdot \beta'_s/3$$

$$s_s = 1 + B/L$$

$$\mu = 0,17 \cdot \ln(q_s/q_u) + 1,2 \quad (\text{korrektionsfaktor, Miller 2013})$$

$$K_p(\beta'_s) = 7,0 \quad (\text{enligt alternativ 1})$$

$$\mu = 0,17 \cdot \ln(56/482,7) + 1,2 = 0,834$$

$$q_s = 20 \cdot 0,85^2 \cdot 7 \cdot \tan\left(\frac{2}{3} \cdot 34,7 \text{ deg}\right) \cdot \left(1 + \frac{1,8}{4,0}\right) \cdot \frac{0,834}{1,8} = 29 \text{ kPa}$$

Total bärförmåga från undergrund och stansning

$$q_{tot} = q_s + q_i$$

$$q_{tot} = 56 + 29 = 85 \text{ kPa}$$

$$q_{tot} > q_{tot,d}$$

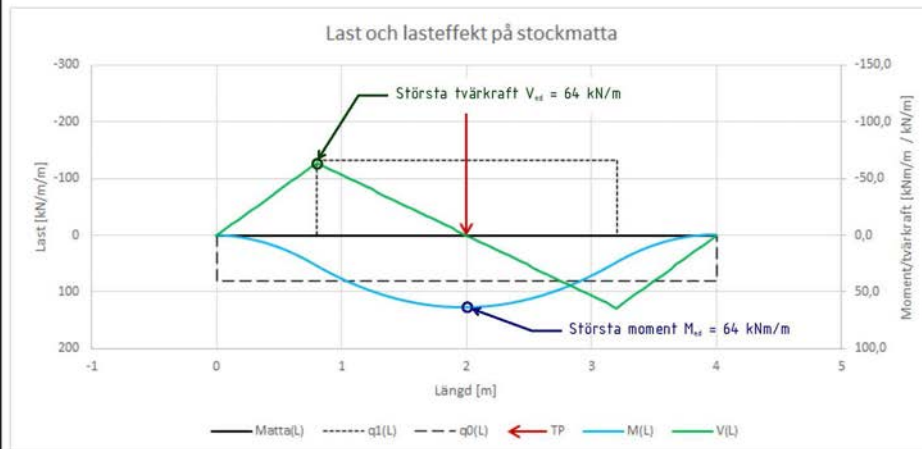
$$85 \text{ kPa} > 80 \text{ kPa}$$

Tillräcklig bärförmåga erhålles vid en area under respektive stödben på $1,8 \times 4,0 \text{ m}$ samt en fyllningsmättighet på $0,85 \text{ m}$. Tillgängliga balkflak har en area på $2,0 \times 2,4 \text{ m}^2$ vilket innebär att stockmattor behöver utläggas under balkflaken.

Kontroll av lasteffekt och kapacitet för stockmattorna (moment/tvärkraft)

Kontakttryck mot stockmatta från jord $q_{i,d} = 80 \text{ kPa}$ (dimensionerande grundtryck)

Kontakttryck mot stockmatta från balkflak $q_{i,d} = Q_{k,d}/(B_{st} \cdot L) = 576/(1,8 \cdot 2,4) = 133,3 \text{ kPa}$



Beräknad lasteffekt för stockmatta med längd 4,0 m, uttryckt i lasteffekt/m

Kapacitet för stockmattor som lastfördelande konstruktionselement enligt nedan (SS-EN 1995-1-1: 2004).

Moment

$$M_{rd} = f_{red} \cdot W \cdot k_{crd}$$

$$W = b \cdot h^2 / 6$$

$k_{crd} = 1,0$ (ingen risk för vippning)

$$f_{red} = k_{red} \cdot f_{td} / \gamma_M$$

$k_{red} = 0,9$ (kort lastvaraktighet, klimatklass 3)

$\gamma_M = 1,3$ (konstruktionsvirke)

f_{td} = karakteristisk värde för bärförmåga (böjning parallellt fibrerna)

Väljer materialkvalitet C18 enligt tabell på efterföljande sida, detta eftersom stockmattorna redan antas ha använts vid pålning och därför inte kan anses vara i nyskick.

Kontrollera vald hållfasthetsklass (C18) avseende moment

$$M_{red} = k_{mod} \cdot f_{td} / \gamma_m \cdot (b \cdot h^2 / 6) \cdot k_{cov}$$

$$M_{red} = 0,9 \cdot 18 \cdot 10^3 / 1,3 \cdot (1 \cdot 0,203^2 / 6) \cdot 1,0 = 85,6 \text{ kN/m}$$

$$M_{ed} > M_{red}$$

Table 1 – Strength classes for softwood based on edgewise bending tests – strength, stiffness and density values

	Class	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Strength properties in N/mm²													
Bending	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Tension parallel	$f_{t,0,k}$	7,2	8,5	10	11,5	13	14,5	16,5	19	22,5	26	30	33,5
Tension perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Compression parallel	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	24	25	27	29	30
Compression perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,5	2,7	2,7	2,8	2,9	3,0
Shear	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0

Tvärkraft

$$V_{ed} = f_{td} \cdot A / 1,5$$

$$A = b \cdot h \cdot k_{ov}$$

$k_{ov} = 0,67$ (konstruktionsvirke, momentbelastat tvärsnitt)

$$f_{td} = k_{mod} \cdot f_{td} / \gamma_m$$

f_{td} = karakteristisk värde för bärförmåga (längsskjuvning)

Kontrollera vald hållfasthetsklass (C18) avseende tvärkraft

$$V_{red} = k_{mod} \cdot f_{td} / \gamma_m \cdot b \cdot h \cdot k_{ov} / 1,5$$

$$V_{red} = 0,9 \cdot 3,4 \cdot 10^3 / 1,3 \cdot 1,0 \cdot 0,203 \cdot 0,67 / 1,5 = 213 \text{ kN/m}$$

$$V_{ed} > V_{red}$$

Moment- och tvärkraftskapacitet tillräcklig för vald hållfasthetsklass C18

Bilaga 4 – Exempel entreprenadteknisk specifikation, mobilkransuppställning

FÖRUTSÄTTNINGAR

ALLMÄNT

GEOTEKNISKA FÖRUTSÄTTNINGAR ENLIGT VIDSTÅENDE MARKTEKNISK
UNDERSÖKNINGSRAPPORT (MUR/GEO).

FÖRVÄNTAD JORDPROFIL ENLIGT TYPSEKTIONER.

SÄKERHETSZON KRING MOBILKRAN ENLIGT ARBETSPLATSENS BESTÄMMELSER
ALTERNATIVT KRANLEVERANTÖRENS ANVISNINGAR.

SÄKERHETSKLASS: SK2
GEOTEKNISK KATEGORI: GK2

LASTER

MOBILKRAN: LIEBHERR LTM 1095-5.1
MAXIMAL TILLÅTEN KARAKTERISTISK STÖDBENSLAST: 43 TON

FÖRESKRIFTER

ALLMÄNT

DENNA HANDLING GÄLLER FÖR MOBILKRAN LIEBHERR LTM 1095-5.1 ELLER
MOTSVARANDE MED LASTER ENLIGT OVAN OCH PLACERING ENLIGT
ÖVERSIKTSPLAN.

BALKFLAK

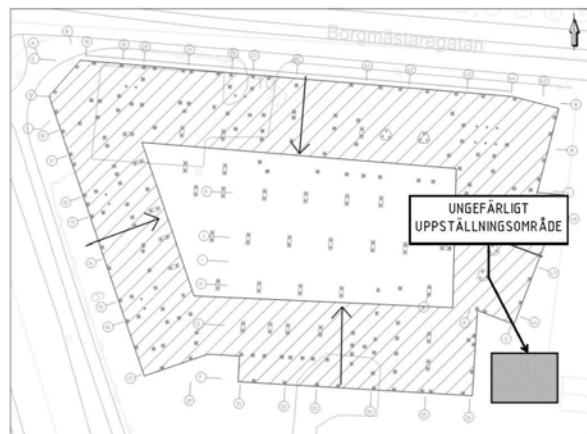
BALKFLAKEN SKALL HA MINST DIMENSIONERNA 2,0x2,4 m². BALKFLAKEN
TILLHANDAHÅLLES AV KRANLEVERANTÖREN SOM ANSVARAR FÖR ATT DESSA ÄR
TILLRÄCKLIGT STYVA FÖR ATT FÖRDELA LASTEN JÄMNT UNDER HELA YTAN SAMT
ÄR DIMENSIONERADE FÖR AKTUELLA STÖDBENSLASTER.

STOCKMATTOR

STOCKMATTOR SKALL VARA OSKADADE OCH $L_{min} = 4,0$ m, TJOCKLEK = 8", SAMT
LÄGST AV KVALITET C18.

FYLLNING

FYLLNING UTFÖRS MED SAMKROSS AV FRAKTION 0-90 mm ELLER LIKVÄRDIG.
FYLLNINGEN SKALL PACKAS I ENLIGHET MED ANLÄGGNINGS AMA 21, TABELL CE/4.



ÖVERSIKTSPLAN
1:800

ANVISNINGAR

TVÅ ALTERNATIVA UPPLAGSKONSTRUKTIONER REDOVISAS PÅ EFTERFÖLJANDE SIDA. DEN LASTSPRIDANDE UPPLAGSKONSTRUKTIONEN SKALL UTLÄGGAS ENLIGT ANTINGEN PLAN A OCH SEKTION A-A ELLER PLAN B OCH SEKTION B-B.

MINST 0,85 m Fyllning av väl packad samkross av fraktion 0-90 mm eller motsvarande förväntas finnas på uppställningsytan. Om detta saknas krävs att fyllning iordningställs enligt anvisningar.

Marknivån inom uppställningsområdet skall vara max +X,X.

Utläggning av lastspridande upplagskonstruktion skall ske på helt plan yta.

Respektive stöbben skall placeras centriskt på upplagskonstruktionen. Ytorna mellan stöbben och balkflak samt balkflak och stockmattor skall vara rena. Stockmattorna skall ligga intill varandra.

Markytan inom min 5,0 m avstånd från upplagskonstruktionen ska vara i nivå med mobilkransuppställningen eller högre. Schakter inom 10,0 m avstånd från upplagskonstruktionen ska godkännas av ansvarig geokonstruktör.

Om det misstänks eller konstateras att jordprofilen avviker från angiven jordprofil skall ansvarig geokonstruktör kontaktas för beslut om åtgärd.

Vid misstanke om att fullgott packningsresultat ej uppnåts för fyllningen skall packningsgraden kontrolleras. Vid avvikande packningsresultat tas beslut om åtgärd i samråd med ansvarig geokonstruktör.

Okulär kontroll utförs dagligen med hänsyn till eventuella horisontalförskjutningar t ex genom att spraymarkera runt stöbbens fot och balkflak.

PROVBELASTNING FÖRE PRODUKTIONSLYFT

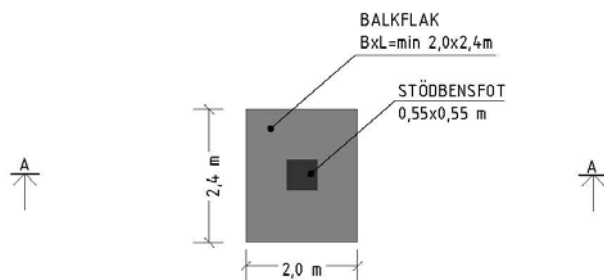
EFTER DET ATT KRANEN HAR MONTERATS SKALL PROVBELASTNING UTFÖRAS, SÅ ATT MAXIMAL STÖDBENSFAST ERHÅLLES. VID PROVBELASTNINGSTILLFÄLLE SKALL TILLSES ATT INGA MÄNNISKOR BEFINNER SIG UNDER KRANEN.

1. PÅ RESPEKTIVE STÖDBEN BEFÄSTS EN MÄTPUNKT MOT VILKEN SÄTTNINGSAVVÄGNING KAN GÖRAS I SAMMA LÄGE ENLIGT NEDAN.
2. VARJE STÖDBEN NOLLAVVÄGS EFTER DET ATT KRANEN STÅR UPPSTÄLLD PÅ UPPLAGSKONSTRUKTIONEN.
3. PROVBELASTNING AV RESPEKTIVE STÖDBEN UTFÖRS.
 - a. MÄTNINGAR AV RESPEKTIVE STÖDBENS EVENTUELLA RÖRELSER VID KONSTANT LAST UTFÖRS EFTER 1, 2, 4, 6, 8 OCH 10 MINUTER. I DET FALL SÄTTNINGSSKILLNADEN MELLAN 8 OCH 10 MINUTER ÄR > 2 mm GÖRS ÄVEN EN MÄTNING EFTER 15 MINUTER.
 - b. RESULTATEN AV MÄTNINGARNA RITAS UPP OCH REDOVISAS I DIAGRAMFORM MED SÄTTNING SOM FUNKTION AV TIDEN.
 - c. RESULTATEN SKICKAS TILL ANSVARIG GEOKONSTRUKTÖR FÖR GODKÄNNANDE FÖRE PRODUKTIONSLYFT.
4. EFTER GODKÄNNANDE FRÅN ANSVARIG GEOKONSTRUKTÖR KAN PRODUKTIONSLYFT UTFÖRAS.

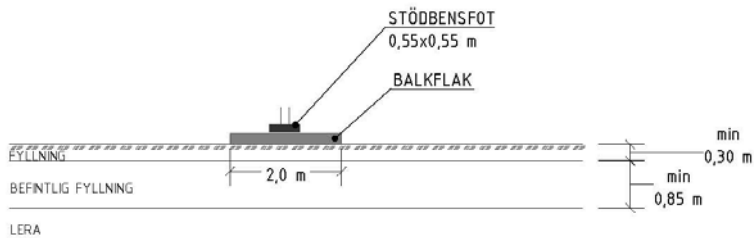
ÖVRIGT

VID AVVIKANDE FÖRUTSÄTTNINGAR KONTAKTAS ANSVARIG GEOKONSTRUKTÖR SAMT UPPSTÄLLNINGANSVARIG FÖR BESLUT OM ÅTGÄRD.

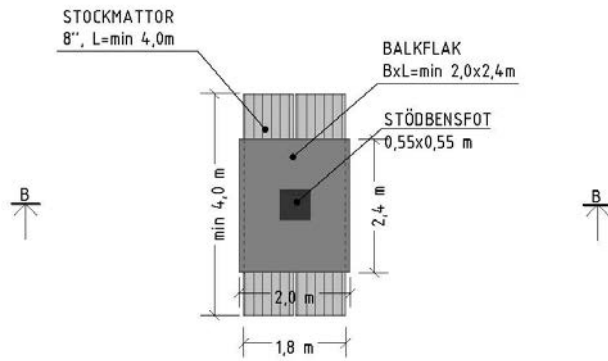
MOBILKRANEN TAS UR DRIFT VID VINDHASTIGHETER ENLIGT KRANLEVERANTÖRENS ANVISNINGAR.



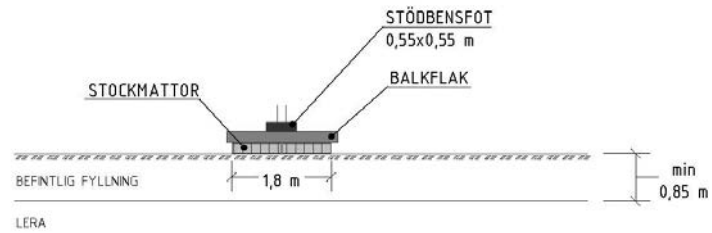
PLAN A
1:100



TYPSEKTION A-A
1:100



PLAN A
1:100



TYPSEKTION B-B
1:100

Bilaga 5 – Exempel checklista inför produktionsstart Uppställning av tung maskin

Projekt/Delområde;	Datum;
Schaktningsansvarig;	Signatur;

Nr	Kontrollera att;	Ok	Ej ok, åtgärd krävs	Ej aktuellt	Åtgärdat
1	Övergripande kontrollpunkter				
2	a) Finns entreprenadteknisk specifikation (ETS) framtagen för erforderlig arbetsplattform inklusive lastfördelande konstruktion med angivna restriktioner och förstärkningsåtgärder?				
3	b) Framgår det vilken säkerhetsklass respektive geoteknisk kategori som gäller för arbetsplattformen?				
4	c) Framgår det vilka naturliga markförhållanden (marknivå- och topografi, jordlager och grundvattennivån) som förutsatts?				
5	d) Är de verkliga naturliga markförhållandena som förväntat? Om så ej är fallet skall ansvarig geokonstruktör kontaktas för beslut om eventuell åtgärd.				
6	e) Framgår hur ofta arbetsplattformen skall kontrolleras?				
7	Kontrollpunkter för arbetsplattformen				
8	a) Är materialkontroll av arbetsplattform utförd (kornfördelning)?				
9	b) Är packningen av arbetsplattformen utförd enligt anvisningarna i ETS:en?				
10	c) Har yttäckande packningskontroll (YPK) utförts?				
11	d) Har plattbelastningsförsök utförts i de enligt YPK:n sämsta punkterna?				
12	e) Om YPK eller plattbelastningsförsök inte utförts, finns dokumentation på utförd packning sk utförandekontroll?				
13	f) Har resultatet av packningen godkänts av geotekniker?				
14	g) I det fall utskiftning har utförts för arbetsplattformen, är plattformen dränerad så att vatten inte kan stiga upp i plattformen vid dålig väderlek?				
15	Kontrollpunkter för lastfördelande konstruktion				
16	a) Är stockmattorna hela och i gott skick?				
17	b) Uppfyller stockmattorna den på ETS:en angivna kvalitetsklassen?				
18	c) Har plåtar, stockmattor mm rätt dimensioner i plan?				
19	c) Har stockmattorna rätt tjocklek?				
20	d) Har plåtar angiven stålqualität.				
21	e) Har plåtarna angiven tjocklek?				

22	Kontrollpunkter för maskinen				
23	a) Stämmer maskintypen med den som är angiven på ETS:en				
24	b) Stämmer maximal stödbenslast/totalvikt/grundtryck för aktuell maskin med den som anges på ETS:en?				
25	c) Är restriktioner för pålkran angiven på ETS:en avseende utligg av bom, rotation och övervagn?				
26	d) Är eventuella restriktioner från maskinleverantören kända avseende vindstyrka?				
27	e) Är stödbenen/larverna centriskt placerade på den lastfördelande konstruktionen, inklusive eventuell felmarginal (vingelmån)?				
28	f) Har kranens stödben provbelastats?				
29	g) Har resultaten av provbelastning rapporterats till ansvarig geotekniker?				
30	h) Har ansvarig geotekniker godkänt uppställningen före produktionslyft?				