

Miljögeoteknisk 3D-modell för markexploatering

Environmental 3D Model for Land Development

Cecilia Kalin

REFERAT

Miljögeoteknisk 3D-modell för markexploatering

Cecilia Kalin

Vid exploatering av mark måste ofta stora volymer jordmassor schaktas bort för grundläggning av hus och anläggning av ledningar och vägar. Dessa jordmassor skickas många gånger till en deponi, vilket orsakar emissioner av miljö- och hälsofarliga gaser från transporter, förbrukning av naturmaterial och innebär även en ekonomisk kostnad.

I Johannelund i västra Stockholm har Stockholms stad planerat ett nytt bostadsområde, och stora mängder jordmassor kommer att behöva schaktas bort under exploateringen. Stockholms stad lät skapa en miljögeoteknisk 3D-modell för att få en översikt över markkvaliteten och bestämma vilka massor som kunde återanvändas för utfyllnad inom området. Med en miljögeoteknisk 3D-modell menas här en CAD-modell i 3D baserad på provtagningar, geotekniska undersökningar och planerad bebyggelse i området. Då detta examensarbete påbörjades var planeringen av Johannelundsprojektet klar och 3D-modellen skapad, men själva bygget hade ännu inte påbörjats.

Syftet med detta examensarbete var att avgöra om miljögeotekniska 3D-modeller bör användas i *framtida* exploateringsprojekt, och målet var att utvärdera och ge råd om framtida användning av modellen samt att undersöka möjligheterna med att återanvända schaktmassor. En fallstudie gjordes av Johannelundsprojektet där de miljömässiga och ekonomiska konsekvenserna av masshanteringen utvärderades och åsikter om problematiken undersöktes genom intervjuer med myndigheter och intressenter. Vidare bestämdes det underlag som behövs till modellen och en lämplig arbetsordning togs fram. Denna information baserades på beräkningar, eget arbete i 3D-modellen samt intervjuer med involverade i Johannelundsprojektet.

Utvärderingen av Johannelundsprojektet visade att återanvändningen av schaktmassor reducerade kostnader för masshantering med 67 % och emissioner från transporter med 85 % jämfört med om den totala volymen schaktmassor skulle ha skickats på deponi. Vidare visade intervjuerna att myndigheter och intressenter har vitt skilda åsikter vad gäller riktvärden, hantering av schaktmassor och miljögeotekniska 3D-modeller. Studien visade även att om arbetet med 3D-modellen ska bli lyckat krävs bland annat ett fullgott dataunderlag och investering i viss kunskapsutveckling hos personalen.

3D-modeller används allt mer inom samhällsbyggnad, och stora ekonomiska och miljömässiga vinster kan göras genom verktygets möjlighet till effektiv planering och kommunikation. Användning av en miljögeoteknisk 3D-modell rekommenderas i framtida byggprojekt där det förekommer ställvis förhöjda halter av markföroreningar och en omfattande volym schaktmassor beräknas uppkomma.

Nyckelord: Exploatering, schaktmassor, 3D-modell, CAD, miljögeoteknik

*Institutionen för geovetenskaper, Byggnadsteknik, Uppsala universitet
Geocentrum, Villavägen 16, SE-752 36, Uppsala
ISSN 1401-5765*

ABSTRACT

Environmental 3D Model for Land Development

Cecilia Kalin

Land development can cause a great deal of excessive soil masses due to shafting. The total volume of excessive soil is many times transported to a landfill, causing gas emissions, use of natural resources and a significant economical cost.

In a land development project in the area of Johannelund in Stockholm much of the soil masses were planned to be reused instead. To overview the soil quality and decide on what soil masses to reuse and where an Environmental 3D Model for Land Development was used by the City of Stockholm. This means a 3D Model based on soil samples, geotechnical investigations and planned shafting. When the work with this thesis begun the Project Johannelund was already planned and the 3D Model had been created, but the land development had yet not been started.

The aim of this thesis was to decide if Environmental 3D Models should be used in *future* land development projects, and the goals was to evaluate the model, give advice on future use and to investigate the possibilities to reuse soil masses. A case study of the environmental and economical effects of reusing soil masses in the Project Johannelund was done. Public authorities and stakeholders were interviewed and advices on how to use Environmental 3D Models were given, this includes the data needed to create a model as well as a suggested way of work. The information is based on calculations, personal experience with the 3D Model and interviews with people involved in the Project Johannelund.

The evaluation of the Project Johannelund showed that the reuse of soil masses reduced the costs of transports and land fill fees with 67 %, and the gas emissions from transports with 85 %. The opinions of public authorities and stakeholders vary greatly. Advices on how to use the Environmental 3D Model includes a thorough database and that the staff will need support in order to use the 3D Model properly.

3D Models are used to a larger and larger extent in Urban Management. There are economical and environmental benefits by using the Environmental 3D Model for a more efficient project planning and communication. The City of Stockholm is recommended to use the 3D Model in future land development projects with heterogeneous soil contamination and a large volume of expected excessive aggregate.

Keywords: Land development, aggregate, 3D Model, CAD, Environmental Geotechnics

*Department of Earth Sciences, Construction Engineering, Uppsala University
Geocentrum, Villavägen 16, SE-752 36, Uppsala, Sweden
ISSN 1401-5765*

Förord

Denna studie utfördes i samarbete med Stockholms stad och Tyréns AB. Studien är ett examensarbete på 30 hp och genomfördes som avslutning på civilingenjörsprogrammet i Miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet. Kennet Axelsson vid Institutionen för geovetenskaper, Byggnadsteknik, var ämnesgranskare och Allan Rodhe vid Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten-, och landskapslära, var examinator.

Ett stort tack riktas till min handledare Anna Fröberg Flerlage på Tyréns AB, som har stöttat mig och bidragit med sin stora kunskap och sina många kontakter inom branschen. Jag vill också tacka Teresia Skönström på Exploateringskontoret, Maria Broberg på Tyréns AB och Kennet Axelsson för era många korrekturläsningar av rapporten. Tack även till alla som medverkat i intervjuerna och svarat mina många frågor.

Slutligen vill jag rikta ett varmt tack till alla medarbetare på Tyréns för en mycket trevlig och inspirerande tid på företaget!

Stockholm, april 2010



Cecilia Kalin

Populärvetenskaplig sammanfattning

Miljögeoteknisk 3D-modell för markexploatering

Cecilia Kalin

När nya bostadsområden ska byggas grävs mycket jord upp för grundläggning av hus och anläggning av nya vägar och ledningar. Hittills har det varit vanligt att jordmaterial som genereras i samband med byggverksamhet har lagts på deponier, detta trots att jord behövs i bostadsområdet när husen är färdigbyggda för att kunna fylla igen omkring dem. Istället har då nytt fyllnadsmaterial brutits från grustäkter. Detta orsakar problem då Stockholms grustäkter inte räcker till för att fylla behovet av ny jord, och det är svårt att hitta platser tillräckligt nära stan att anlägga nya grustäkter på. Grusåsar är dessutom viktiga att bevara eftersom de filtrerar vatten som sedan används som dricksvatten.

Det finns flera problem med att lägga jord på deponi; när jordmassorna transporteras till deponin släpps stora mängder koldioxid och andra miljö- och hälsofarliga gaser ut. Dessa bidrar till luftvägsproblem hos människor, försurning av mark och vattendrag samt en ökad global uppvärmning. Att frakta jordmassor till en deponi innebär dessutom betydande kostnader för markägaren.

Ett nytt bostadsområde ska byggas i Johannelund i västra Stockholm. Stockholms stad äger marken och har gjort ett försök att minska mängden jordmassor som skickas på deponi, liksom mängden jordmassor tagna utifrån för fyllnadsarbeten. Minskningen av jordmassor som skickas på deponi kommer att ske dels genom att den schaktade jorden istället återanvänds till anläggning vid byggarbetet och dels till att göra parkmarken i anslutning till området mer lättillgänglig och attraktiv för de boende.

Marken i Johannelund består av fyllnadsmassor som blivit över från tidigare byggnadsprojekt i Stockholm och lagts i området. I marken påträffades förhöjda halter av markföroreningarna vid Stockholms stads provtagningar jämfört med de riktvärden som Naturvårdsverket rekommenderar. En del jordmassor som ska schaktas upp kommer att innehålla så låga halter att de går att återanvända, medan en del kommer att ha för höga halter av vissa ämnen. Som datahjälpmedel för att planera vilka jordmassor som ska återanvändas har en *miljögeoteknisk 3D-modell* skapats av konsulter i Johannelundsprojektet.

En miljögeoteknisk 3D-modell är en datamodell där marken i området och det som ska byggas ritas upp. Modellen går att vrida och vända på och kan granskas ur alla vinklar. Den består av olika lager som kan tändas och släckas där det går att se till exempel var grunden till husen ska ligga, hur mycket jord som måste grävas upp och vilken kvalitet jorden har. Med hjälp av denna information går det att se var utfyllnad av jord kommer att behövas och hur den uppgrävda jorden kan återanvändas i byggprojektet. När detta examensarbete påbörjades var planeringen av Johannelund redan klar och 3D-modellen skapad, men själva byggnadsarbetet hade ännu inte påbörjats. Syftet med examensarbetet var att bestämma om och hur miljögeotekniska 3D-modeller bör användas i *framtida* exploateringsprojekt.

Resultatet av att minska mängden jordmassor som skickas på deponi, samt att begränsa intaget av ny jord utifrån i Johannelundsprojektet utvärderades även i denna studie. Det visade sig att utsläppen av koldioxid och övriga avgaser beräknas bli 85 % mindre då

jordmassorna återanvändes jämfört med om de hade skickats på deponi. Återanvändningen innebär dessutom att sju miljoner kronor kommer att sparas på färre transporter och på att en mindre mängd jordmassor kommer att behöva tas om hand av deponeringsstationen.

Det finns flera fördelar med att använda en 3D-modell i exploateringsprojekt, till exempel ger den beställare av bygget en ökad insyn i projektet. Modellen gör det även lätt att följa hur planeringen av bygget fortskrider, och beställaren kan tidigt få detaljerade kostnadsanalyser och vara med och diskutera hur bygget ska göras. Det blir dessutom färre missförstånd mellan olika parter eftersom det finns en visuell bild över hur allt hänger ihop. Mer planering sker innan bygget väl sätter igång, vilket leder till färre problem och dyra stopp ute på byggarbetsplatsen.

I rapporten presenteras även en beskrivning av hur man kan arbeta med 3D-modellen. De tre viktigaste delarna för ett lyckat arbete är ett bra dataunderlag från fältundersökningar och provtagningar, att projektörerna har tillräcklig kunskap för att skapa en miljögeoteknisk 3D-modell och att övrig personal som arbetar med modellen får kompetensutveckling för att kunna nyttja modellen. Den kritiska punkten för om återanvändningen av jordmassor ska fungera kommer troligtvis att vara när det som räknats fram i modellen praktiskt ska genomföras ute på bygget. Byggentreprenörer måste vara väl insatta i modellens syfte och funktion, och beställaren av byggarbetet måste vara tydlig med att den hantering av jordmassorna som bestämts verkligen ska genomföras.

Innehåll

1. INLEDNING	1
1.1 BAKGRUND	1
1.2 MÅL OCH SYFTE.....	1
1.3 METOD	2
1.4 AVGRÄNSNINGAR	3
1.5 RAPPORTENS DISPOSITION	3
2. MARKEXPLOATERING.....	5
2.1 FÖRORENAD MARK.....	5
2.2 HANTERING AV SCHAKTMASSOR.....	6
2.3 LAGSTIFTNING OCH FÖRORDNINGAR	7
2.3.1 Allmänt	7
2.3.2 Miljöbalken.....	7
2.3.3 Sveriges miljömål	9
2.3.4 Riktvärden	9
3. CAD-MODELLER I 3D	13
3.1 ALLMÄNT.....	13
3.2 CAD-MODELLER I 3D I BYGGBRANCHEN.....	13
3.3 MILJÖGEOTEKNISK 3D-MODELL	14
4. FALLSTUDIE AV JOHANNELUNDSPROJEKTET	17
4.1 DISPOSITION	17
4.2 OMRÅDESBESKRIVNING	17
4.3 3D-MODELL	19
4.4 EKONOMISK OCH MILJÖMÄSSIG UTVÄRDERING	20
4.4.1. Allmänt	20
4.4.2 Antaganden.....	21
4.4.3 Beräkningar	22
4.4.4 Resultat	23
5. INTERVJUER MED MYNDIGHETER OCH INTRESSETER	25
5.1 INTERVJUADE PERSONER	25
5.2 RIKTVÄRDEN FÖR FÖRORENAD MARK.....	25
5.3 ÅTERANVÄNDNING AV SCHAKTMASSOR	26
5.4 MÖJLIGHETER MED MILJÖGEOTEKNISKA 3D-MODELLER.....	27
6. ARBETSBESKRIVNING FÖR MILJÖGEOTEKNISK 3D-MODELL	29
6.1 DATAUNDERLAG	29
6.2 ARBETSORDNING	32

6.3 PERSONALKOMPETENS	33
6.4 REKOMMENDATIONER	34
7. PROGRAMVAROR FÖR MILJÖGEOTEKNISK 3D-MODELL.....	37
7.1 INTRODUKTION.....	37
7.2 FUNKTIONSKRAV PÅ PROGRAMVAROR	37
7.3 FÖRSLAG PÅ PROGRAMVAROR	38
8. DISKUSSION OCH SLUTSATSER	39
8.1 DISKUSSION	39
8.2 FÖRSLAG PÅ VIDARE STUDIER.....	41
8.3 SLUTSATSER	42
REFERENSER.....	43
BILAGOR	49
BILAGA A. PLATSSPECIFIKA RIKTVÄRDEN JOHANNELUND	49
BILAGA B. NATURVÅRDSVERKETS GENERELLA RIKTVÄRDEN.....	50
BILAGA C. MODELL ÖVER FÖRORENINGSSITUATIONEN I JOHANNELUND.....	52

TERMINOLOGI

Miljögeoteknik

Miljömässig påverkan av jord, berg och vatten på grund av miljöstörande verksamhet eller naturliga hälso- och miljöfarliga ämnen eller processer (SGI, 2009).

Markexploatering

Markanvändningen i ett område ändras i och med att marken bebyggs.

MB

Miljöbalken

PAH

Polycykliska aromatiska kolväten

TS

Torrsubstans

CAD

Computer Aided Design

BIM

Byggnadsinformationsmodell

1. INLEDNING

1.1 BAKGRUND

Stockholms Stad expanderar och flera nya bostadsområden kommer att byggas de kommande åren. Många nybyggnationer i Stockholm sker på redan brukad mark, till exempel mark utfylld av överblivna schaktmassor. Detta innebär ofta att jorden innehåller ställvis förhöjda halter av föroreningar jämfört med de riktvärden som Naturvårdsverket rekommenderar (Strid, 2008).

Då hus grundläggs och vägar anläggs måste ibland stora mängder jordmassor schaktas bort, och hur dessa schaktmassor ska hanteras är idag en aktuell fråga. Sedan Miljöbalkens trädde i kraft år 1999 har alla schaktmassor, oberoende av eventuell föroreningsgrad, klassats som avfall enligt MB 15 kap 1 §. Detta har resulterat i att en stor andel schaktmassor hamnat på deponier (Lundgren, 2009). Många byggen kräver samtidigt stora mängder fyllnadsmassor, varav ofta jungfruligt naturmaterial som nybrutna grus- och bergsmassor tas in utifrån (Länsstyrelsen Stockholms län, 2000). Att transportera jordmassor till och från byggen på detta sätt innebär en stor påfrestning på miljön i form av utsläpp från transporter och buller. Att använda nybrutna massor innebär dessutom en onödig förbrukning av jungfruligt material (Adriansson, 2009).

I ett försök att minska miljöpåverkan och kostnader vid exploateringsprojekt i stadsmiljö har Stockholms stad initierat ett pilotprojekt i nybyggnadsområdet Johannelund i västra Stockholm, där schaktmassor ska återanvändas istället för att skickas på deponi. Schaktmassorna kommer dels att återanvändas som utfyllnad i anläggningsarbetet, dels användas till landskapsmodellering för att skapa en tillgängligare och mer attraktiv park i anslutning till bostadsområdet. I pilotprojektet skapades en miljögeoteknisk 3D-modell av konsulter på SWECO och Tyréns. Med en miljögeoteknisk 3D-modell menas här en datamodell där geoteknik, förorenings-situation och landskapsmodellering illustreras grafiskt i ett CAD-program. Planering och projektering av masshanteringen var slutförd när detta examensarbete påbörjades, och byggstarten var planerad till april 2010. Det var första gången som de inblandade parterna använde en 3D-CAD modell till miljögeoteknik, och den nya tekniken visade sig ha både för- och nackdelar. För att samla erfarenheter från användandet av 3D-modellen i Johannelundsprojektet initierades detta examensarbete av medarbetare på Tyréns och Stockholms stad.

3D-modeller används inom flera andra områden i byggbranschen, men är en relativt ny metod inom miljögeotekniken. Syftet med att använda en miljögeoteknisk 3D-modell är att förbättra kontrollen vid exploatering av områden där det förekommer markföroreningar, samt att hitta strategier för att minska mängden schaktmassor som skickas på deponi. Detta ska naturligtvis ske med beaktande av människors hälsa och miljön.

1.2 MÅL OCH SYFTE

Syftet med denna studie var att bestämma om miljögeotekniska 3D-modeller bör användas i framtida exploateringsprojekt. Målet var att utvärdera hur modellen användes i Johannelundsprojektet, ge råd om framtida användning av modellen och att undersöka möjligheterna med och konsekvenserna av att återanvända schaktmassor. Detta har gjorts genom att utreda följande fyra sakfrågor.

1. De *ekonomiska* och *miljömässiga konsekvenserna* av att med 3D-modellen som dataverktyg planera återanvändningen av schaktmassor i Johannelundsprojektet.

2. Berörda *myndigheters* och *intressenters* meningar om riktvärden för förorenad mark, återanvändning av schaktmassor och miljögeotekniska 3D-modeller.
3. *Arbetsbeskrivning* för en miljögeoteknisk 3D-modell.
4. Lämpliga egenskaper hos *programvaran* för en miljögeoteknisk 3D-modell.

1.3 METOD

För att utreda dessa sakfrågor har examensarbetet utförts i följande tre steg:

1. Litteraturstudie fokuserad på nedanstående ämnen:
 - a) Markföroreningar och lagstiftning
 - b) Hantering av schaktmassor vid markexploatering
 - c) CAD-modeller i 3D i byggbranschen
2. Utvärdering av den 3D-modell som användes i Johannelundsprojektet där följande delar behandlats:
 - a) Beräkning av ekonomiska och miljömässiga konsekvenser av projektet
 - b) Inläring av 3D-modellen
 - c) Skapande av en egen 3D-modell över föroreningssituationen
 - d) Intervjuer med involverade i projektet
3. Intervjuer med myndigheter och intressenter

I utvärderingen av 3D-modellen i Johannelundsprojektet beräknades de ekonomiska och miljömässiga konsekvenserna av återanvändningen av schaktmassor. Två olika scenarier jämfördes. I Scenario 1 beräknades masshanteringen genomföras som planerat, det vill säga en stor del av de uppkomna schaktmassorna återanvänds, och i Scenario 2 beräknades masshanteringen genomföras traditionellt, det vill säga den totala volymen schaktmassor skickades istället på deponi. Beräkningarna baserades på rapporter inom ämnet samt muntlig kommunikation med involverade i projektet.

Vidare skedde inläring av programvaran MicroStation och dess applikationsprogram InRoads som 3D-modellen till Johannelundsprojektet var skapad i. Modellen som hade använts i Johannelund granskades noggrant och författaren testade att bygga upp enkla modeller från grunden på egen hand. Som en del av detta arbete skapades en egen modell som illustrerar föroreningssituationen och vilka schaktmassor som kan återanvändas i Johannelundsprojektet, se Bilaga C. Erfarenheten från detta arbete samt muntlig kommunikation med projektörer och andra medverkande i Johannelundsprojektet vägdes samman till rekommendationer om en arbetsordning, nödvändigt underlag samt framtidsvisioner för miljögeotekniska 3D-modeller.

För att underlätta val av programvara då en miljögeoteknisk 3D-modell ska användas i framtida markexploateringsprojekt bestämdes lämpliga egenskaper hos data-programmet. Detta gjordes i samråd med 3D-projektörer som arbetat med modellen i Johannelund. Ett par olika programvaror valdes sedan ut efter förslag från projektörer och rapporter, och granskades enligt satta kriterier.

Intervjuer gjordes med myndigheter och intressenter som hanterar ärenden kring exploatering av förorenade områden. Intervjuerna skedde både via telefon och vid personliga möten. Representanter för de fyra förvaltningar som främst beslutar om hantering av schaktmassor i Stockholm intervjuades. Dessa är Naturvårdsverket, Miljöförvaltningen i Stockholms Stad, länsstyrelsen i Stockholms län och

Exploateringskontoret i Stockholms stad. En representant för byggentreprenören NCC intervjuades även. Syftet med intervjuerna var att undersöka personernas inställning till hantering av schaktmassor, samt vilka möjligheter de kunde se med miljögeotekniska 3D-modeller.

1.4 AVGRÄNSNINGAR

Studien riktar sig främst till Stockholms stad, men även andra storstadskommuner samt konsultfirmor som arbetar med miljögeoteknik kan ha nytta av studiens resultat. De miljömässiga beräkningarna är avgränsade till att gälla transporter till och från deponin. Inga värderingar hur miljön påverkas av att jordmassorna finns kvar inom området respektive fraktas bort har gjorts. Det har inte heller beräknats vad det skulle ha kostat att ta in nybrutna massor för utfyllnaden, eller vad detta skulle ha haft för miljöpåverkan.

Studien behandlar problematiken med hantering av schaktmassor som uppkommer vid exploatering av tidigare utfyllda områden, och resultatet går inte att direkt applicera på exploatering av obrukad mark eller tidigare industriområden, och inte heller på marksaneringsobjekt.

1.5 RAPPORTENS DISPOSITION

För att ge en mer heltäckande bild av problematiken och de tekniska förutsättningarna inleds rapporten med en litteraturstudie. I kapitel 2 behandlas markexploatering, vilket innefattar områdena förorenad mark, hantering av schaktmassor och den lagstiftning som berör ämnet. I kapitel 3 behandlas CAD-modeller i 3D, och innefattar hur modellerna används i byggbranschen idag samt beskriver vad en miljögeoteknisk 3D-modell är.

Vidare beskrivs fallstudien av Johannelundsprojektet i kapitel 4, där den utvärdering som gjordes av de ekonomiska och miljömässiga konsekvenserna med att återanvända schaktmassor presenteras. I kapitel 5 redovisas resultatet av intervjuerna med myndigheter och intressenter, och i kapitel 6 finns det förslag på den arbetsbeskrivning för miljögeotekniska 3D-modeller som bestämts i detta arbete. Därefter följer en översiktlig undersökning av de egenskaper hos programvaran som krävs för att skapa en miljögeoteknisk 3D-modell i kapitel 7. Diskussion och slutsatser från studiens resultat återfinns i kapitel 8.

2. MARKEXPLOATERING

2.1 FÖRORENAD MARK

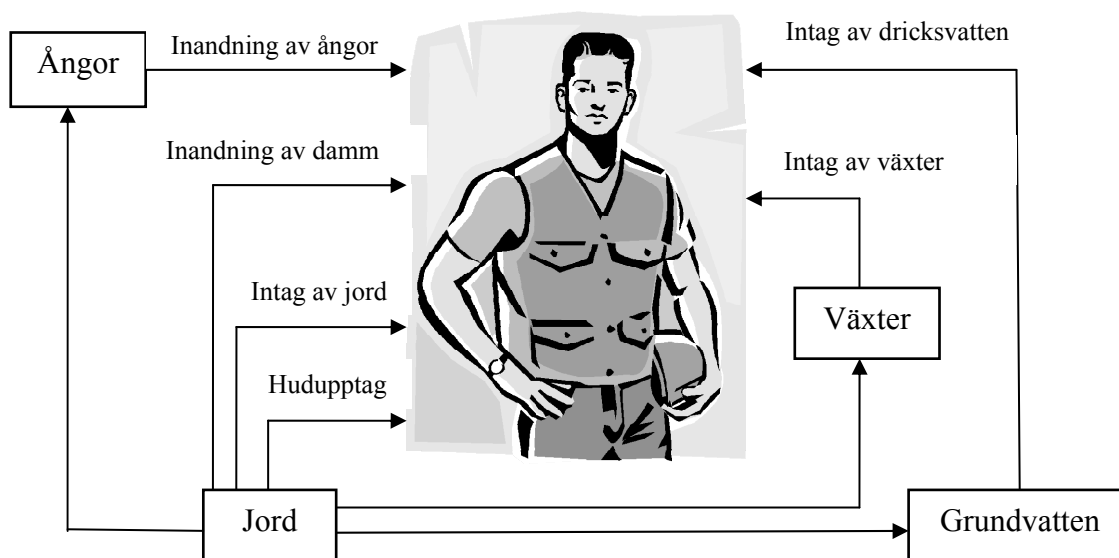
En föroreningsskada definieras enligt MB 10 kap. 1§ som

”en miljöskada som genom förorening av ett mark- eller vattenområde, grundvatten, en byggnad eller en anläggning kan medföra skada eller olägenhet för människors hälsa eller miljön.”

Sådana föroreningsskador härstammar många gånger från före detta industrier, gamla avfallsupplag och nedlagda bensinstationer, ofta från en tid då både lagstiftning och kunskaper om vilka risker de kunde medföra för människor och miljö var bristfälliga. Trots skärpt lagstiftning i och med införandet av Miljöbalken 1999 finns det fortfarande verksamheter som förorenar marken genom utsläpp, läckage och olyckor (Darpö, 2001). Vanligt påträffade föroreningar är PAH, pesticider, lösningsmedel och metaller som bly, kadmium och zink (Länsstyrelsen i Skåne län, 2009).

Människor kan utsättas för föroreningar vid till exempel intag av fisk, dricksvatten och besprutade eller dåligt sköljda grönsaker. Denna typ av föroreningar räknas som ”bakgrundsstrålning”, det vill säga sådana som människor beräknas få i sig oberoende av boendeplats.

De föroreningar som människor kan exponeras för på sin boendeplats kan komma från till exempel damm och partiklar i luften, egenodlad frukt och grönsaker eller olje-föroreningar som läcker in i hus, se Figur 1. Främst små barn får i sig en viss mängd jord när de vistas utomhus, vilket gör att extra försiktighetsåtgärder avseende markkvaliteten måste tas då till exempel daghem och lekplatser byggs (Naturvårdsverket, 1997). Det finns en risk att markföroreningar sprids genom urlakning och hamnar i grund- eller ytvattnet, vilket gör dem tillgängliga för den närliggande miljön och kan göra dricksvattnet otjänligt. På grund av detta är lakbarheten en viktig faktor när risken med förorenad mark bedöms (Ahl och Nilsson, 2004).



Figur 1 Föroreningars exponeringsvägar från jord till människan (efter Sköld, 2009).

I Sverige uppmärksammades problemet med förorenad mark först under 1980-talet (Axelsson, muntl. komm., 2010). I början av 1990-talet gjorde Naturvårdsverket uppskattningen att det fanns 1 700 möjligt förorenade områden. Idag är siffran uppe i över 80 000, men nu anses i princip alla områden vara identifierade. Största delen av dessa områden har dessutom risk- eller branschklassats, det vill säga blivit bedömda och indelade i klasser efter vilken risk de utgör för människor och miljö (Naturvårdsverket, 2009a).

Områdenas föroreningsgrad varierar kraftigt, och för att dela in dem i olika riskklasser används inventeringsverktyget *Metodik för inventering av förorenade områden* (MIFO). Med detta verktyg klassificeras områdena från 1 - 4 beroende på en sammanvägning av föroreningarnas farlighet, föroreningsnivåerna, spridningsförutsättningarna och områdets känslighet (Naturvårdsverket, 1999). Av de identifierade områdena uppskattas cirka 1 400 tillhöra riskklass 1, det vill säga den riskklass där föroreningarna bedöms utgöra störst risk (Naturvårdsverket, 2009b).

2.2 HANTERING AV SCHAKTMASSOR

De schaktmassor som uppkommer vid exploatering i stadsmiljöer innehåller många gånger förhöjda halter av föroreningar jämfört med Naturvårdsverkets generella riktvärden. Exploatering av naturmark sker sällan, istället har marken som exploateras ofta redan varit bebyggd i flera omgångar eller består av överblivna fyllnadsmassor från tidigare byggnationer. Spridningen av föroreningar i marken är ofta heterogen, vilket betyder att föroreningarna förekommer ställvis och att en del av schaktmassorna kan ha halter långt under riktvärdena (Fröberg Flerlage, 2009). När dessa massor schaktas upp klassas de som avfall oavsett eventuell föroreningsgrad, och läggs många gånger på deponi.

År 2004 genererades cirka sex miljoner ton schaktmassor i Sverige som klassades som avfall, men ändå uppskattades vara potentiellt användbart. Det finns två huvudgrupper för återvinning av avfall när det gäller jordmassor, dels konstruktionsmaterial i bygg- och anläggningsprocessen, dels täckningsmaterial för sluttäckning av deponier. Konstruktionsmaterial innebär främst fyllnadsmassor runt hus och i vägkroppar, och sluttäckning av deponier innebär att jordmassor läggs ovanpå till exempel ett avslutat avfallsupplag för att minska spridningsrisken av miljögifter (Arm m.fl., 2007).

En svårighet med att återanvända schaktmassor som konstruktionsmaterial i storstäder är att det ofta råder brist på plats där massorna kan lagras innan de återanvänds. Marken är dessutom mycket värdefull, vilket gör att entreprenörerna vill uppföra hus eller lägenheter så snabbt som möjligt för att maximera vinsten. Detta gör att det inte blir ekonomiskt lönsamt att lagra massor på byggarbetsplatsen, och lösningen blir istället ofta att massor skickas till deponier oavsett kvalitet (Lundgren, 2009).

Att lägga schaktmassor på deponi innebär en miljöpåverkan på flera sätt. Transporter till deponier orsakar utsläpp av gaser som koldioxid och kväveoxid, damm och partiklar sprids längs vägen och dessutom genereras buller. Risker med de gaser som släpps ut är bland annat att kvävedioxid och svaveldioxid bidrar till förurning av mark och vattendrag, och påverkar människors luftvägar negativt (Naturvårdsverket, 2009c,d). Kolväten kan bilda marknära ozon under inverkan av ultraviolett strålning, vilket kan påverka andningsorgan och immunförsvar hos människor samt skada växtligheten (Naturvårdsverket, 2009e). Kolmonoxid är ytterligare en hälsofarlig gas som kan påverka blodets förmåga att transportera syre (Naturvårdsverket, 2009f). Partiklar av

olika slag bildas på grund av ofullständig förbränning av bränsle. De är hälsovådliga då de kan tränga in i lungvävnaden och orsaka luftvägsproblem (Wahlström, 2000). Vidare är koldioxid den gas som främst förknippas med att bidra till den globala uppvärmningen.

Att inte återanvända schaktmassorna som fyllnadsmaterial innebär dessutom att jungfruligt material i form av sand, grus och sten måste brytas. Att bryta jungfruligt material kräver mycket energi till anläggningar och transporter (Adriansson, 2009). Vanligt förekommande miljöstörningar är även här buller, vibrationer och damm. Flertalet grustäkter kring Stockholm är dessutom redan utbrutna, och att anlägga nya påverkar närmiljön och rekreationsområden negativt, vilket särskilt märks i en storstadsregion där kultur- och friluftsområden är begränsade (Länsstyrelsen i Stockholms län, 2000).

Det är dessutom viktigt att grusåsarna finns kvar obrukade eftersom de fungerar som en naturlig vattenrening, och är betydelsefulla för Stockholms stads vattenförsörjning (Adriansson, 2009). Stockholms läns landsting (2000) slår fast att berg och överskottsmassor måste återanvändas i större utsträckning för att täcka framtid behov av fyllnadsmaterial. Anläggning av nya grustäkter regleras i 9 kap 6 § MB, där det fastslås att en täkt av naturgrus som kräver tillstånd eller anmälan inte får komma till stånd om det är tekniskt möjligt och ekonomiskt rimligt att istället använda andra material.

2.3 LAGSTIFTNING OCH FÖRORDNINGAR

2.3.1 Allmänt

De lagar och förordningar som berör hantering av schaktmassor och förorenad mark återfinns i följande fem förteckningar: *Miljöbalken*, *Avfallsförordningen*, *Sveriges miljömål*, Naturvårdsverkets *Generella* och *Platsspecifika riktvärden* och storstadskommunernas *Storstadsspecifika riktvärden*. Lagstiftningen om avfall kommer dessutom snart att förändras i och med nya direktiv från EU.

Det finns inga lagstiftade halter vid vilka marken betraktas som förorenad. Istället finns det rådgivande riktvärden för olika ämnen, dels generella riktvärden från Naturvårdsverket, dels storstadsspecifika riktvärden framtagna av kommuner och intressenter i Stockholm, Göteborg och Malmö. Tolkningen av både Miljöbalken och de nationella miljökvalitetsmålen kan göras på olika sätt när det ska avgöras hur schaktmassor ska hanteras. Här följer en översikt över lagstiftning och förordningar, samt de olika riktvärdena.

2.3.2 Miljöbalken

Miljöbalken är Sveriges samlade lagstiftning för miljölagar och infördes år 1999 (Naturvårdsverket, 2008).

I 1 kap 1 § tydliggörs Miljöbalkens syfte och tillämpning.

”Bestämmelserna i denna balk syftar till att främja en hållbar utveckling som innebär att nuvarande och kommande generationer tillförsäkras en hälsosam och god miljö. En sådan utveckling bygger på insikten att naturen har ett skyddsvärde och att människans rätt att förändra och bruka naturen är förenad med ett ansvar för att förvalta naturen väl.

Miljöbalken skall tillämpas så att

1. människors hälsa och miljön skyddas mot skador och olägenheter oavsett om dessa orsakas av föroreningar eller annan påverkan,
2. värdefulla natur- och kulturmiljöer skyddas och vårdas,
3. den biologiska mångfalden bevaras,
4. mark, vatten och fysisk miljö i övrigt används så att en från ekologisk, social, kulturell och samhällsekonomisk synpunkt, långsiktigt god hushållning tryggas, och
5. återanvändning och återvinning liksom annan hushållning med material, råvaror och energi främjas så att ett kretslopp uppnås.”

Punkt 5 förstärks i de allmänna hänsynsreglerna, 2 kap 5 §, som säger att

”alla som bedriver en verksamhet eller vidtar en åtgärd skall hushålla med råvaror och energi samt utnyttja möjligheterna till återanvändning och återvinning. I första hand skall förnybara energikällor användas.”

Att både rena och förorenade schaktmassor klassas som avfall klargörs i 15 kap 1 § där avfall definieras som

”varje föremål, ämne eller substans som ingår i en avfallskategori och som innehavaren gör sig av med eller avser eller är skyldig att göra sig av med.”

En förteckning över dessa avfallskategorier finns i Avfallsförordningens andra bilaga, där schaktmassor återfinns under avfallskategori 17, *bygg- och rivningsavfall*, vilket inkluderar alla uppgrävda jordmassor oberoende eventuell föroreningsgrad (170503/170504). Detta innebär att anmälningsplikt hos länsstyrelsen gäller vid återvinning eller bortförskaffning av schaktmassor enligt 37 § i Avfallsförordningen.

Enligt Europaparlamentet och Europarådets beslut år 2008 ska ett nytt ramdirektiv (2008/98/EG) angående avfall införas i EU. I ramdirektivet slås det fast att *förebyggandet av uppkomsten av avfall* bör ges högsta prioritet vid avfallshantering. Detta kommer att få stor betydelse för de svenska avfallsbestämmelserna enligt Naturvårdsverket (2009g). Ifall det inte går att undvika att avfall uppkommer bör de negativa effekter som genereringen av avfall ger upphov till minskas. Reglerna kommer att införas i svensk lagstiftning i december 2010, och kommer att innebära att Miljöbalkens 15 kapitel skrivs om. Centralt för kapitlet blir följande prioriteringsordning för politik och lagstiftning inom avfallsområdet:

1. Förebyggande
2. Återanvändning
3. Materialåtervinning
4. Annan återvinning, t.ex. energiåtervinning
5. Bortskaffande

Här innebär förebyggande att det förhindras att avfall uppkommer. Återanvändning innebär att materialet används igen utan bearbetning, för att fylla i princip samma funktion som det ursprungligen var avsett för. Återvinning innebär att materialet bearbetas så att det kan ersätta nytt material. En ändring efter detta direktiv i MB 15 kap. skulle bland annat innebära att icke-farlig jord inte längre skulle klassas som avfall (Naturvårdsverket, 2009g).

2.3.3 Sveriges miljömål

Sveriges Riksdag har antagit 16 miljömål vars syfte är att säkerställa en kvalitet på natur- och kultureresurser som är hållbar i flera generationer framåt. Till varje miljö-kvalitetsmål hör även ett antal delmål. De tre följande miljömålen är aktuella när det gäller hantering av schaktmassor:

Giftfri miljö: ”Miljön skall vara fri från ämnen och metaller som skapats i eller utvunnits av samhället och som kan hota människors hälsa eller den biologiska mångfalden.”

God bebyggd miljö ”Städer, tätorter och annan bebyggd miljö skall utgöra en god och hälsosam livsmiljö samt medverka till en god regional och global miljö. Natur- och kulturvärden skall tas till vara och utvecklas. ...”

Begränsad klimatpåverkan ”Halten av växthusgaser i atmosfären skall i enlighet med FN:s ramkonvention för klimatförändringar stabiliseras på en nivå som innebär att människans påverkan på klimatsystemet inte blir farlig. ...”

Delmål 6 i målet *Giftfri miljö* fastslår att alla förorenade områden som innebär akuta risker vid direktexponering, eller hotar viktiga naturområden eller vattentäkter ska vara undersökta och om nödvändigt åtgärdade år 2010 (Naturvårdsverket, 2009h). Delmål 5 i målet *God bebyggd miljö* säger att den totala mängden genererat avfall inte ska öka. Den resurs som avfall utgör ska tas till vara, samtidigt som riskerna för människors hälsa och miljön minimeras. Delmål 1 i målet *Begränsad klimatpåverkan* anger bland annat att den största ökningen av koldioxidutsläpp i Sverige sker från transporter och arbetsmaskiner (Miljömålsrådet, 2009). Sammanfattningsvis finns det flera olika och ofta konkurrerande mål som ska tas hänsyn till när det gäller hantering av schaktmassor.

2.3.4 Riktvärden

Naturvårdsverkets riktvärden

Naturvårdsverket är ett statligt verk som ska se till att miljöpolitiska beslut genomförs och har utarbetat *Generella riktvärden* för föroreningshalter i mark. De generella riktvärdena gäller i hela Sverige, men för platser med förhållanden som skiljer sig från dem som antagits i beräkningarna av de generella värdena går det att göra en bedömning med hjälp av *Platsspecifika riktvärden*. Naturvårdsverkets riktvärden är inte juridiskt bindande värden utan endast rekommendationer på referensnivåer för att bestämma om ett område är förorenat (Naturvårdsverket, 2008).

Det finns generella riktvärden för 52 kemiska ämnen, föreningar eller grupper av föreningar, se Bilaga B. Riktvärdena är beräknade ur en datamodell baserad på beräkningsmodeller från andra europeiska länder, där olika hälso- och miljörisker vägs samman. I modellen beräknas ett värde för hälsa, ett för skydd av markmiljö och ett för

skydd av akvatiskt liv i närliggande vattendrag. Riktvärdet för en förorening bestäms sedan till det lägsta av dessa värden.

Beroende på vad ett område ska användas till tillämpas riktvärden antingen för *Känslig markanvändning* (KM) eller *Mindre känslig markanvändning* (MKM). Vid KM begränsas inte valet av markanvändning av markkvaliteten, och människor kan vistas permanent i området under en livstid. På sådan mark kan till exempel bostäder och förskola byggas. Vid MKM begränsas valet av markanvändningen till platser där människor inte tillbringar hela livet, till exempel industrier, vägar och kontor. Riktvärdena är utformade så att en föroreningshalt under riktvärdet inte förväntas ge några skadliga effekter för människa och miljö, men en halt som överstiger riktvärdena behöver inte heller nödvändigtvis ge några skadliga effekter. Syftet med riktvärdena är inte att använda dem som kriterier för återanvändning av avfall. De är framtagna för att kunna användas nationellt och för en rad olika markscenarier (Naturvårdsverket, 2008).

Platsspecifika riktvärden är anpassade för de speciella markförhållanden på platsen som kan påverka föroreningens fastläggnings- och spridningsmöjligheter (Miljöförvaltningen, 2007). De platsspecifika riktvärdena beräknas ur samma modell som de generella riktvärdena, men vissa faktorer, till exempel lakbarheten, ändras beroende på platsens egenskaper. Möjligheten att skapa platsspecifika riktvärden har utnyttjats i många projekt i storstadsregionerna men eftersom riktvärdena endast är tillämpliga på det område de är beräknade för blir det kostsamt och tidskrävande att använda dem (SWEKO, 2009).

Storstadsspecifika riktvärden

Marken i storstäder är som tidigare nämnts nästan alltid redan brukad, och i Stockholm, Göteborg och Malmö förekommer ofta problematiken med markföroreningar i exploateringsprojekt. Exploateringskontoret i Stockholm, Stockholms byggmästarförening och Sveriges byggindustrier har utarbetat storstadsspecifika riktvärden.

De storstadsspecifika riktvärdena har tagits fram eftersom förhållandena som råder i en storstad sällan stämmer överens med de förhållanden som använts för beräkningarna av de generella riktvärdena. Till exempel är en stor del av marken i en storstad bebyggd eller täckt av asfalt vilket minskar exponeringsrisken från föroreningarna, och intaget av grödor odlade i området sker inte i den omfattning som ligger till grund för Naturvårdsverkets generella riktvärden. De platser där jord förekommer, som till exempel i parker och rabatter, är oftast utfyllda med ditförd, ren jord. Dagvattnet leds till vattenreningsverk, vilket gör att en mindre mängd vatten infiltrerar i marken jämfört med obebyggda miljöer, och detta minskar spridningsrisken av föroreningar till yt- och grundvatten. Dricksvattnet kommer dessutom oftast från ytvattentäkter utanför staden. Dock har de ytvattenkriterier som avser att skydda organismer i vattenmiljön behållits då de nya riktvärdena beräknats.

Allt detta har medverkat till att de storstadsspecifika riktvärdena många gånger är högre än de generella riktvärdena för KM, men enligt initiativtagarna är det viktigt att notera att högre hälsorisker för människor i storstadsmiljö inte har accepterats. Initiativtagarna poängterar att de storstadsspecifika riktvärdena endast bör användas om de platsspecifika förhållandena stämmer överens med de antaganden som har gjorts när dessa beräknades.

Föroreningarnas medelvärden bör användas snarare än maxvärden när det gäller långtidsrisker, då dessa ger en mer representativ bild av riskerna för både människor och djur. Detta beror på att människor och djur inte ständigt vistas på samma punkt, utan rör sig över ett större område, och kan därför antas utsättas för ett medelvärde av föroreningarna. Det finns sju olika markscenarier för de storstadsspecifika riktvärdena, dessa scenarier är bland annat "*bostadshus med stor tomt*", "*parker och grönytor*" och "*torg, parkeringsplatser och gator*". Riktvärdena kan dels användas vid en inledande bedömning av området och dels vid hantering av schaktmassor, där halterna i de återanvända massorna ska understiga riktvärdena för den plats de återanvänds inom (SWEKO, 2009).

3. CAD-MODELLER I 3D

3.1 ALLMÄNT

3D-modeller är digitala avbilder av ett verkligt objekt i höjd-, bredd- och djupled. De kan vridas och vändas på för att granskas från alla vinklar, se Figur 2. Modellerna görs i ett CAD-program, där CAD står för Computer Aided Design och är precis som namnet antyder ett digitalt hjälpmedel för rit- och designteknik (CAD Design, 2007).



Figur 2 CAD-modell i 3D av en stuga i Tornedalen (Tiderman, 2008 med tillstånd).

3.2 CAD-MODELLER I 3D I BYGGBRANSCHEN

För 40 år sedan gjordes i princip alla ritningar för hand med penna och papper. Minsta ändring innebar behov av att sudda och rita om, och större ändringar innebar oftast att hela ritningen måste göras om på nytt. Under 1970-talet började CAD-program i 2D att spridas över världen, vilket ändrade förutsättningarna för att projektera radikalt. I slutet av samma årtionde utvecklades CAD-program i 3D, men trots att tekniken funnits länge är 3D-projektering ännu relativt nytt inom byggbranschen (Bozdoc, 2003).

I byggindustrin i dagens Sverige förekommer det enligt vissa studier problem med osäkra tidsplaner och kostsamma förseningar i byggskedet. Detta beror bland annat på bristfälliga projekteringshandlingar, dålig resursanvändning som stillastående maskiner och oförutsedda markförhållanden (Sörqvist, 2009, Olofsson och Söderström, 2009). Enligt Josephson och Saukkoriipi (2005) står dessa onödiga kostnader för 30-35% av projektets totala produktionskostnad. Mycket av kostnaderna skulle enligt dessa kunna undvikas om resurserna istället satsades på projektering och planering med hjälp av tillgänglig ny teknik, till exempel 3D-modellering.

Enligt Carlsson (2004) är en av fördelarna med att använda 3D-modeller att det tidigt i projektet går att leverera noggranna mängdberäkningar på ingående byggnadsmaterial till beställaren, vilket ger säkrare kostnadskalkyler. En annan fördel är att det är betydligt lättare att upptäcka krockar och kollisioner, till exempel mellan byggnadsstomme, VVS och el (Kullman, 2006). Kommunikationen mellan olika parter som beställare,

arkitekter, projektörer och entreprenörer underlättas dessutom genom 3D-illustrationer som tydligt ger en bild av hur bygget kommer att se ut och hur alla delar hänger ihop (Hedberg, 2007). Ett exempel på att allt fler inser fördelarna med 3D-projektering är att Vägverket krävde att all projektering av vägbanan Norra länken skulle ske i 3D. En rad problem som uppkom under arbetet med Södra länken, som endast projekterades i 2D, hade nämligen lätt kunnat undvikas om projekteringen istället skett i 3D (Kullman, 2006).

Det finns naturligtvis även nackdelar med CAD-projektering i 3D, även om de flesta studier inom ämnet kunnat visa på stora fördelar. För de som ska arbeta med modellerna krävs en grundlig utbildning i tekniken, som tar längre tid att lära sig och är mer komplex än 2D. Det kan vara lätt för medarbetarna att falla tillbaka på det traditionella 2D-ritandet ifall det känns ovant att arbeta i 3D, och mycket support krävs under övergången (Kullman, 2006).

En vidareutveckling av 3D-modeller inom byggbranschen är så kallad Byggnadsinformationsmodellering (BIM). Här inkluderas 3D-modellen inte bara i planeringen av projektet utan även i själva utförandet på byggarbetsplatsen och i förvaltningen. I arbetsfordon som grävmaskiner sätts GPS och maskindatorer in så att förarna vet exakt var de ska schakta, fylla och bygga. Detta är redan idag relativt vanligt (Sörqvist, 2009).

Enligt Jongeling (2008) blir projekteringsprocessen i genomsnitt runt 20 % effektivare med BIM jämfört med traditionell CAD-projektering i 2D. Bland fördelarna som upplevs under byggskedet nämns främst att färre problem måste lösas på plats då samordningen mellan olika aktörer ökar och feltolkningar av underlaget minskar. För förvaltning kan BIM-tekniken användas till exempel då ett hus ska byggas om. Ifall förvaltaren vill se att ombyggnaden inte kommer att påverka husets grundstomme går det att gå tillbaka till 3D-modellen och göra stabilitetsberäkningar i denna istället för att granska den fysiska byggnaden.

Nästa steg i teknikutvecklingen i byggbranschen är 4D-modeller, vilket innebär att tiden läggs in som en fjärde dimension i 3D-modellen. På så sätt går det att dynamiskt simulera hela byggprocessen från första grävtaget till de färdiga husen. Fördelarna med 4D-modeller är att hela byggförloppet kan planeras mycket detaljerat och resurser i byggandet kan sättas in vid rätt tidpunkt (Söderström och Olofsson, 2009).

3.3 MILJÖGEOTEKNISK 3D-MODELL

En miljögeoteknisk 3D-modell är ett dataverktyg för att hantera schaktmassor och markföroreningar i exploateringsprojekt. I modellen kan föroreningssituationen illustreras och volymer av schakt- och fyllnadsmassor beräknas, vilket gör det möjligt att inkludera massbalans för ett helt byggnadsprojekt redan vid projekteringsstarten. (Strid, 2008). Alla fördelar med 3D-modeller kan användas även för markprojektering.

En miljögeoteknisk 3D-modell består av ett CAD-program i 3D med ett eller flera applikationsprogram. Ett applikationsprogram kan ses som en verktygslåda där olika verktyg eller matematiska värden används för att bygga ihop en modell, som sedan kan visas grafiskt i ett CAD-program. Alla olika områden i ett byggnadsprojekt kan inkluderas i modellen; landskap, konstruktion, vägar, bergteknik och geoteknik. I CAD-programmet hanteras två typer av information, dels läget hos ett objekt och dels attributet, det vill säga egenskaperna, hos objektet. Attributet går att få fram genom en

enkel knapptryckning på objektet. Det går då att se vad objektet representerar, till exempel en provtagningspunkt, en gata eller ett hus och dessutom information som föroreningsgrad, schaktdjup och ansvarig byggentreprenör. För att se hur 3D-modellen i Johannelund användes se avsnitt 4.3.

4. FALLSTUDIE AV JOHANNELUNDSPROJEKTET

4.1 DISPOSITION

I avsnitt 4.2 och 4.3 beskrivs vad som gjordes i Johannelundsprojektet innan detta examensarbete påbörjades, det vill säga planering av bygget och skapandet av 3D-modellen. I avsnitt 4.4 återfinns den ekonomiska och miljömässiga utvärderingen av Johannelundsprojektet som är ett resultat av detta examensarbete.

4.2 OMRÅDESBESKRIVNING

Stockholms stad ska låta bygga ett nytt bostadsområde i Johannelund i västra Stockholm. Området är utfyllt med överskottsmassor från tidigare byggprojekt under 60- och 70-talet. Precis norr om området finns en brant vall, även den uppbyggd av schaktmassor (Figur 3 och 4). Marken innehåller förhöjda halter föroreningar jämfört med Naturvårdsverkets generella riktvärden enligt en riskbedömning utförd år 2005 av SWECO (Evenhamre m.fl. 2007). Idag är platsen ett strövområde med av gräs och sly.

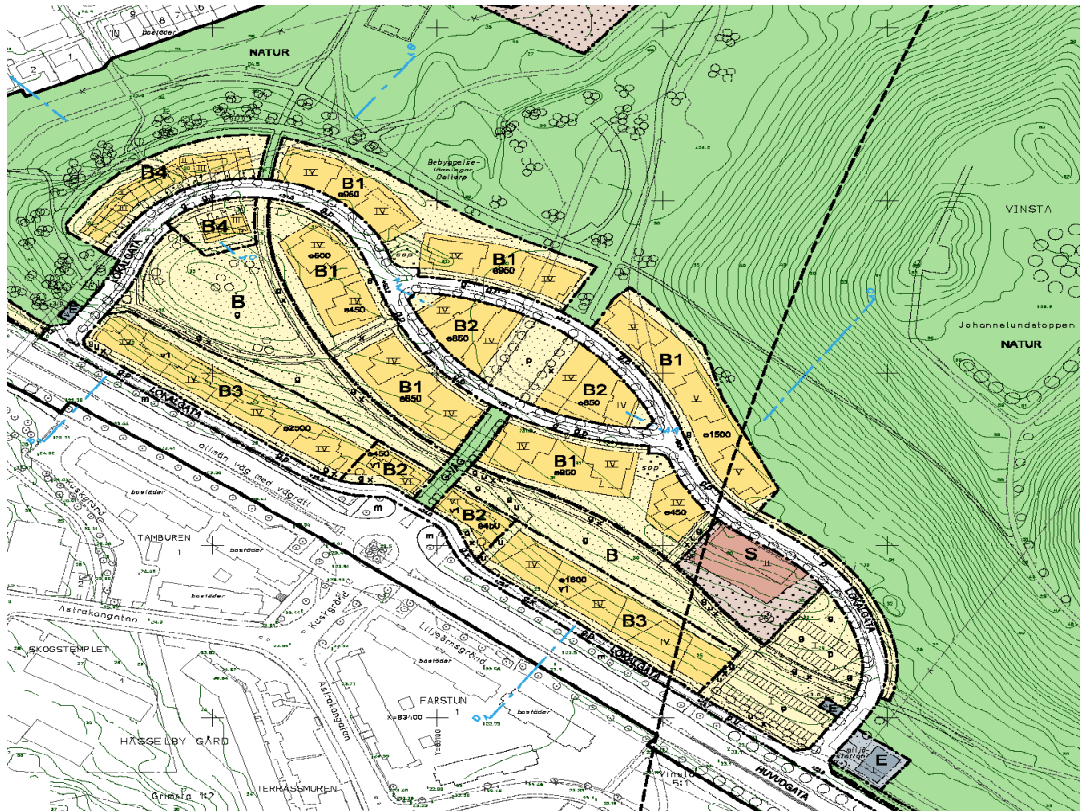


Figur 3 Johannelundstoppen byggs upp av sten och schaktmassor. Bild från 1950-talet (Henrikson, 2010 med tillstånd).



Figur 4 Johannelundstoppen idag (Henrikson, 2010 med tillstånd).

Nu ska området söder om Johannelundstoppen omvandlas till ett bostadsområde med 500 lägenheter, dagis, parkytor och vägar. För detaljplanekarta se Figur 5. Totalt omfattar området 80 000 m² (Fröberg Flerlage, 2009). Marken norr om området kommer att bevaras obebyggd och kunna fortsätta nyttjas som bollplan och pulkabacke (Stockholms stad, 2009). Bygget är i skrivande stund inte påbörjat, men planeras starta hösten 2010. Stockholms stad äger marken och kommunen är ansvarig för hantering av förorenade schaktmassor (Fröberg Flerlage, 2009).



Figur 5 Detaljplanekarta över Johannelund (Stockholms stad, 2007 med tillstånd).

År 2006-2007 utfördes omfattande systematiska provtagningar enligt uppdrag från kommunen på de massor som kommer att schaktas, dessutom gjordes slumpmässiga provtagningar på kvarteretsmarken mellan husen. De miljögeotekniska markundersökningar visade på ställvis förhöjda halter av tungmetallerna koppar, bly och zink samt PAH. Även en mindre mängd tegelrester och skrot fanns i marken (Strid, 2008). Även laktester utfördes på kommunens uppdrag i samband med provtagningarna, och visade på att föroreningarnas lakbarhet var låg, vilket betyder att de sitter hårt bundna i marken och att risken för spridning till yt- och grundvatten är liten (Fröberg Flerlage, 2009). Inget grundvatten påträffades när jordprover av fyllnadsmassorna togs, vilket tyder på att grundvattenytan ligger under fyllnadsmassorna. Även detta visar på låg spridningsrisk för föroreningar. Ingen synnerligen skyddsvärd natur eller hotad art bedömdes finnas inom området (Evenhamre m.fl., 2007).

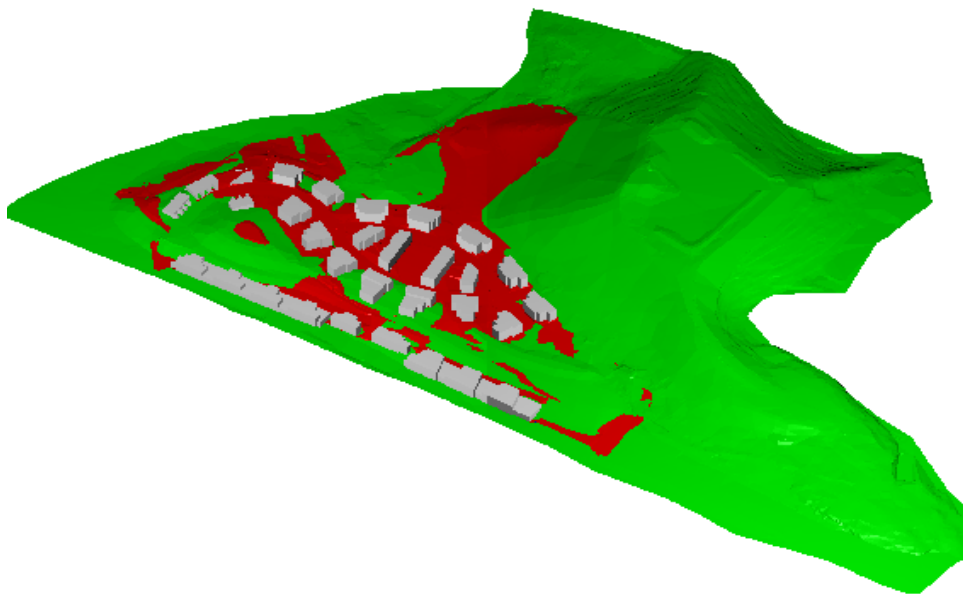
För riskbedömning av de påträffade föroreningarna togs platsspecifika riktvärden för Johannelund fram, se bilaga A. Dessa baserades på Naturvårdsverkets modell för generella riktvärden med modifikationer anpassade för rådande förhållanden på platsen, se avsnitt 2.3.3. Då de platsspecifika riktvärdena för Johannelund beräknades togs det hänsyn till att området har mycket låg lakbarhet, inget dricksvatten tas från området och

att mikroorganismerna inte behöver skyddas lika mycket som vid exploatering av jungfrulig mark (Fröberg Flerlage, 2010).

4.3 3D-MODELL

Exploateringskontoret på Stockholms stad initierade skapandet av en miljögeoteknisk 3D-modell just i Johannelund eftersom det är ett stort och komplext byggprojekt som kommer att innebära mycket överskottsmassor, med en i Stockholm vanligt förekommande föroreningssituation. Genom att använda en miljögeoteknisk 3D-modell sågs möjlighet till att överblicka, effektivisera och förbättra planeringen och därmed minska ekonomiska kostnader samt påfrestning på miljön. Det fanns dessutom finansiering för de extra kostnader det innebar att införa den nya tekniken i och med bidrag från ”Miljömiljarden”, en fond instiftad av Stockholms Stad för att minska stadens miljöproblem (Tensmyr Hildinger, 2009). Exploateringskontoret fick år 2005 tre miljoner kronor för att ta fram en strategi för att hantera fyllnadsmassor med ställvis förhöjda halter av föroreningar i exploateringsprojekt (Strid, 2008).

Med hjälp av modellen kunde markkvaliteten och olika projekteringsförslag visualiseras med målet att återanvända en så stor del som möjligt av de schaktmassor som beräknades uppkomma vid grundläggningen, se Figur 6. Utvecklingen av 3D-modellen genomfördes till en början av SWECO, för att sedan övertas och avslutas av Tyréns. 3D-modellen i Johannelundsprojektet gjordes i Bentley Systems CAD-program MicroStation med projekterings- och beräkningsprogrammet InRoads.



Figur 6 3D-modell över hus och återanvändning av schaktmassor i Johannelund. De röda ytorna representerar områden där schaktmassor kommer att användas för utfyllnad.

Modellen är baserad på en grundkarta med olika lager som kan tändas och släckas, vilket på så sätt kan åskådliggöra till exempel provtagningsplatser, geotekniska förhållanden, schaktdjup och existerande och ny marknivå. Genom att lägga in resultat från provtagningar går det att se var olika föroreningar ligger i marken och på så sätt planera vilka massor som kan återanvändas i området och vilka som måste skickas på deponi.

Marken delades efter provtagningarna upp i enhetsvolym, det vill säga en viss volym jord som kommer att schaktas upp. Enhetsvolymerna togs fram i enighet med Miljöförvaltningen efter den inledande undersökningen av området. Storleken på

enhetsvolymerna i Johannelundsprojektet var upp till 400 m³, eller i enstaka fall 500 m³. Att de gjordes så pass stora berodde på den heterogena föroreningssituationen i Johannelund, det vill säga att högre föroreningshalter än de platsspecifika riktvärdena endast förväntades påträffas på ett fåtal ställen, samt de relativt låga föroreningshalterna. Enhetsvolymerna för schaktning inför grundläggning bestämdes i så stor utsträckning som möjligt till den totala schaktvolymen där grundläggning för ett planerat hus skulle ske. Ifall en sådan volym överskred 500 m³ delades schakten under huset upp på två enhetsvolym. Generellt togs jordprover från fyra provgropar i varje enhetsvolym. Provtagning och klassificering gjordes huvudsakligen där grundläggning skulle ske, men även slumpmässigt på gårdsmarken mellan husen (Fröberg Flerlage, 2010).

Stockholms stad använde 3D-Modellen under planeringen av Johannelundsprojektet för diskussioner om landskapsmodelleringen i området då olika förslag på hur massorna kunde omfördelas i området framfördes. Resultatet av landskapsmodelleringen blev att 27 488 m³ av de 32 001 m³ uppschaktade massor ska återanvändas.

4.4 EKONOMISK OCH MILJÖMÄSSIG UTVÄRDERING

4.4.1. Allmänt

Genom att återanvända schaktmassor i Johannelundsprojektet kommer antalet transporter till deponeringsstationen att minska kraftigt, vilket dels minskar hanteringskostnaderna för Stockholms stad och byggtreprenörerna, dels minskar utsläppen av miljö- och hälsofarliga gaser som koldioxid och svaveldioxid. I detta examensarbete har det beräknats vad som kommer att sparas ekonomiskt och miljömässigt på att återanvända schaktmassorna. De miljömässiga beräkningarna inkluderar endast emissioner från transporter till och från deponin. Även om återanvändningen av schaktmassor hade varit möjlig utan den miljögeotekniska 3D-modellen, har modellen varit ett viktigt verktyg och stöd i planeringen av masshanteringen.

Nedan följer en jämförelse över vad det skulle ha kostat ekonomiskt och miljömässigt om hela volymen schaktmassor i Johannelund skickats på deponi istället för att till stor del återanvändas inom området. Två scenarier har använts i utvärderingen: Scenario 1 där den planerade återanvändningen av schaktmassor genomförs som ett pilotprojekt i Johannelund, och Scenario 2 där hanteringen av schaktmassor istället sker traditionellt, det vill säga den totala volymen skickas på deponi.

- **Scenario 1: Schaktmassor återanvänds i området**
Schaktmassorna från klass 1B och 2B återanvänds i området, medan massor från klass D-F skickas på deponi, se Tabell 4.1. Det vill säga 27 488 m³ återanvänds och 4 813 m³ deponeras.
- **Scenario 2: Totala volymen schaktmassor skickas på deponi**
Den totala volymen schaktmassor från alla klasser, d.v.s. 32 301 m³, skickas på deponi.

I Tabell 1 finns den klassificering och de jordvolym som ingår i beräkningarna.

Tabell 1 Klassificering och volym av schaktmassor i Johannelund

Klassificering	Förklaring	Jordvolym (m ³)	Andel av total volym
1B	Godkända massor för återanvändning inom hela området (förutom daghem) (Varav under KM)	20 250 (1334)	63 % (4 %)
2B	Godkända massor för återanvändning i parkmark	7 238	22 %
D – F	Massor som efter schaktning inte kan återanvändas inom området.	4 813	15 %

4.4.2 Antaganden

I beräkningarna har följande antaganden gjorts:

- Schaktmassorna som ska deponeras skickas till kretsloppsanläggningen Högbytorp i Bro, väster om Stockholm.
- Sträckan från Johannelund till Högbytorp är 32 km.
- Deponeringspriset i Tabell 4 är det pris Stockholms stad enligt avtal ska betala för schaktmassor från Johannelund.
- Fordon som används för transport är 6-axlad tung lastbil med släp från Volvo
- Lastbilens motor är lägst miljöklassad Euro1
- Kostnaden för en lastbil med släp är 1 090 kr/h inklusive bränsle (Fröberg Flerlage, 2009)
- Bränslet som använts är Mk1 Diesel
- Jords densitet är cirka 1,8 ton / m³
- I en lastbil ryms det 40 ton jord/last (Eliaeson, 2003)
- Lika många fulla laster körs från Johannelund till deponin som tomma samma sträcka tillbaka.
- Bränsleförbrukningen för en tom lastbil är 0,305 l/km (Eliaeson, 2003)
- Bränsleförbrukningen för en full lastbil är 0,49 l/km (Eliaeson, 2003)
- Det tar 1,5 timmar att köra tur och retur från Johannelund till Högbytorp inklusive på- och avlastning av jordmassor (Fröberg Flerlage, 2009)

I beräkningarna ingår endast kostnader och emissioner från transporter och kostnader för deponering av massor. I verkligheten tillkommer kostnader och emissioner för

arbetsfordon som omfördelar massorna på byggplatsen samt emissioner från arbetsfordon som lastar av massorna på deponin.

Den totala volymen massor som ska hanteras är dock densamma, oberoende av om massorna skickas på deponi eller återanvänds på plats. Detta gör att emissioner och hanteringskostnader kan antas vara ungefär lika stora vid de båda scenarierna. Hanteringskostnaden på deponin hade ingått i deponeringspriset, medan hanteringskostnaden på byggarbetsplatsen är en kostnad som tillkommer för Stockholms stad och entreprenörerna. Dock hade nytt fyllnadsmaterial behövts ifall massorna deponerats, och hanteringskostnader för detta hade tillkommit.

4.4.3 Beräkningar

Antal lass till deponi:

Jordens totala vikt har beräknats från de båda scenarierna (Tabell 2). Antal lass har därefter beräknats genom att dividera jordens vikt med en lastbils lastkapacitet.

Tabell 2 Antal last till deponi

	Scenario 1	Scenario 2
Volym jord till deponi (m ³)	4 813	32 301
Vikt jord till deponi (ton)	8 663	58 142
Antal last	217	1 454

Kostnad lastbil

Tiden det tar att köra samtliga last till deponin har beräknats enligt Tabell 3. Därefter har transporttiden multiplicerats med kostnaden för en lastbil per timme för att få den totala lastbilskostnaden.

Tabell 3 Kostnad för lastbilstransport

	Scenario 1	Scenario 2
Tid transport till deponi (h)	325,5	2 181
Kostnad (kr)	354 795	2 377 290

Deponeringskostnader

För massor i klass 1B varierar deponeringskostnaden mellan 50 – 80 kr/ton. I dessa beräkningar har kostnaden approximerats till 65 kr/ton. För deponeringskostnader se Tabell 4.

Tabell 4 Deponeringskostnader för scenario 1 och 2

Klass	Pris (kr/ton)	Volym (m³)	Massa (ton)	Kostnad 1 (kr)	Kostnad 2 (kr)
1B	65	20 250	36 450	-	2 369 250
2B	200	7 238	13 028,4	-	2 605 600
D	325	4 382	7 887,6	2 563 470	2 563 470
E - F	585	431	775,8	453 843	453 843
Totalt				3 017 313	7 992 163

Totalkostnad

Kostnad för lastbil och deponeringskostnad har summerats i Tabell 5.

Tabell 5 Totalkostnad scenario 1 och 2

Scenario 1	Scenario 2
3 372 108 kr	10 369 453 kr

Bränsleförbrukning från transport

Bränsleförbrukningen har beräknats genom att multiplicera antal last med sträckan till deponin och bränsleförbrukningen per kilometer, se Tabell 6.

Tabell 6 Bränsleförbrukning från transporter

	Scenario 1	Scenario 2
Bränsleförbrukning fulla lastbilar (l)	3 403	22 799
Bränsleförbrukning tomma lastbilar (l)	2 118	14 191
Total bränsleförbrukning (l)	5 521	36 990

Emissioner från transport

Den totala bränsleförbrukningen för tomma och fulla lastbilar har multiplicerats med uppskattad emission per liter bensin, se Tabell 7. Emissionsdata är hämtat från rapporten ”Emissioner från Volvos lastbilar” (Mårtensson, 2003).

Tabell 7 Utsläpp från transporter

Ämne	Emission (g/l bränsle)	Emissioner scen. 1 (kg)	Emissioner scen. 2 (kg)
CO ₂	2600	14 000	96 000
NO _x	28	160	1 000
SO ₂	0,0015	0,0083	0,055
HC	0,9	5,0	33
CO	5,0	28	190
Partiklar	0,35	1,9	13

4.4.4 Resultat

Den ekonomiska utvärderingen visade att kostnader för hantering av schaktmassor skulle minska med 67 % om största delen av schaktmassorna återanvänds jämfört med om hela volymen schaktmassor skickades på deponi. I pengar handlar det om en minskad hanteringskostnad på nästan *sju miljoner kronor*.

Den miljömässiga utvärderingen visade att emissionerna från transporter skulle minska med 85 % i Scenario 1 jämfört med Scenario 2. Gaserna som inkluderas i beräkningarna är koldioxid, kväveoxid, svaveldioxid, kolväten, kolmonoxid samt partiklar. En 85 % minskning av utsläppen av dessa gaser vid ett exploateringsprojekt betyder mycket i en stad som Stockholm där det främsta miljöproblemet bedöms vara trafiken (Stockholms stad, 2008). För koldioxidutsläppen är minskningen i siffror över *80 000 kg*, vilket motsvarar en persons flygresor på 10 varv runt jordklotet (Horner, 2009).

5. INTERVJUER MED MYNDIGHETER OCH INTRESSENTER

5.1 INTERVJUADE PERSONER

För att ta reda på åsikter kring hantering av schaktmassor och miljögeotekniska 3D-modeller intervjuades följande yrkesverksamma inom området:

Carl Michael Strauss, Naturvårdsverket (2009-11-19)

Naturvårdsverkets roll är att se till att miljöpolitiska beslut genomförs. Carl Michael Strauss arbetar bland annat med frågor som rör avfallshantering och han är en av författarna till Naturvårdsverkets nya handbok ”Återvinning av avfall för anläggningsarbeten”.

Birgitta Swahn, Länsstyrelsen Stockholms län (2009-12-03)

Länsstyrelsen i Stockholms län ansvarar bland annat för anmälningsärenden och överklaganden vid ärenden som rör förorenade områden. Birgitta Swahn arbetar på miljöskyddsenheten.

Örjan Magnusson, Miljöförvaltningen i Stockholms stad (2009-11-12)

Miljöförvaltningen är den myndighet i Stockholms Stad som är ansvarig för tillsyn och övervakning av miljön. När bedömningar ska göras av hur uppschaktade massor och föroreningar vid markexploateringsområden ska behandlas måste markägaren först rådgöra med Miljöförvaltningen. Där arbetar Örjan Magnusson som miljö- och hälsoskyddsinspektör.

Teresia Skönström och Anna-Greta Holmbom Björkman, Exploateringskontoret i Stockholms stad (2009-12-09)

Exploateringskontoret leder och ansvarar för arbetet med nybyggen av bostäder på Stockholm stads mark. I egenskap av markägare betalar Stockholms stad den extra kostnad det innebär att hantera förorenade schaktmassor som uppkommer vid nyproduktion av kontor och bostäder. Teresia Skönström är miljöingenjör på Exploateringskontorets avdelning för miljö och teknik och Anna-Greta Holmbom Björkman arbetar på avdelningen projektutveckling och är projektledare för exploateringen av Johannelund.

Ragnhild Karlsson, NCC (2010-01-19)

NCC är ett bygg- och fastighetsutvecklingsföretag där Ragnhild Karlsson är uppdragsledare på miljöavdelningen. Tidigare arbetade hon många år på Miljöförvaltningen, bland annat i Stockholms stad.

5.2 RIKTVÄRDEN FÖR FÖRORENAD MARK

Fråga: Vad anser du/ni om riktvärdena när det gäller förorenad mark?

Strauss (Naturvårdsverket). De generella riktvärdena är framtagna av Naturvårdsverket och kan användas som ett av flera verktyg i riskbedömningen av ett förorenat område. Strauss poängterar att de generella riktvärdena endast är till för att bedöma föroreningar i mark, inte i redan uppschaktade jordmassor.

Swahn (Länsstyrelsen i Stockholms län) Swahn anser att de platsspecifika riktvärdena måste användas i de allra flesta fall och är skeptisk till de storstadsspecifika riktvärdena. Hon tycker att de storstadsspecifika riktvärdena är baserade på för kortsiktiga

antaganden och inte tar tillräcklig hänsyn till grundvattenkvaliteten eftersom de förutsätter att dricksvatten inte tas från grundvattnet.

Magnusson (Miljöförvaltningen i Stockholms stad). Bland de olika riktvärdena följer Miljöförvaltningen främst Naturvårdsverkets generella riktvärden, men anser att de storstadsspecifika riktvärdena kan användas som ett av flera verktyg vid en första bedömning. Dock tycker Magnusson att de är för generella för att användas enskilt och ställer sig då mer positiv till de efter omständigheterna anpassade platsspecifika värdena.

Skönström och Holmbom Björkman (Exploateringskontoret i Stockholms stad). Som initiativtagare strävar Exploateringskontoret efter att de storstadsspecifika riktvärdena ska nyttjas. Tidigare har de platsspecifika riktvärdena använts vid en majoritet av bedömningarna, men Skönström och Holmbom Björkman vill nu minska användningen av dessa, då det är kostsamt för kommunen att räkna fram nya riktvärden för varje enskilt fall. Holmbom Björkman anser att en bedömning av föroreningarnas halt, skadlighet och spridningsrisk ska göras inledande vid varje exploateringsprojekt, därefter ska de storstadsspecifika riktvärdena användas som vägledning. Bedömningar måste göras från fall till fall, och vilka halter som kan ligga kvar beror helt på vad som ska byggas. Generellt kan de säga att marken ska vara ren den översta metern, därunder kan något högre föroreningshalter accepteras.

Karlsson (NCC). Karlsson anser att det är positivt att det finns en föroreningshalt att referera till, men att det ofta glöms bort att riktvärdena endast är just riktvärden. Enligt henne bör de vara en utgångspunkt för vidare diskussioner, men hon har ofta upplevt det som svårt att få tillåtelse att gå ifrån dem. Vidare tycker hon att markföroreningar får ett oproportionerligt stort ekonomiskt utrymme jämfört med andra miljörisker, där samma investerade pengar hade resulterat i betydligt större miljöförbättringar.

5.3 ÅTERANVÄNDNING AV SCHAKTMASSOR

Fråga: Hur ser du/ni på återanvändning av schaktmassor?

Strauss (Naturvårdsverket). Strauss förklarar att det första som måste göras när en omfördelning av massor övervägs är att bestämma om massorna är ett avfall eller inte. Detta avgörs av vad massorna ska användas till. Vid landskapsmodellering av t.ex. en kulle blir massorna ett avfall om kullen skapas för att ägaren ska göra sig av med massorna. Då klassas omfördelningen som bortförskaffning. Har däremot kullen ett tydligt syfte, och skulle ha byggts med massor tagna utifrån om det inte funnits tillräckligt med överskottsmassor på byggarbetsplatsen, klassas massorna inte som avfall och omfördelningen kan betraktas som återanvändning. Ifall det rör sig om återanvändning eller bortförskaffning avgörs alltså av syftet med omfördelningen av schaktmassor. Strauss anser dock att det behövs stora mängder rena massor, det vill säga under KM, för att täcka över och avsluta uttjänade deponier. Han menar att det inte råder något överskott av massor totalt i landet, utan de massor som blir över vid anläggningsarbeten bör gå till dessa deponier istället för att omfördelas på plats.

Swahn (Länsstyrelsen i Stockholms län). Swahn tycker att det i vissa fall kan finnas möjlighet till återanvändning av schaktmassor, men att det absolut inte är någon generell lösning. I varje enskilt fall måste en bedömning göras. Enligt Swahn finns det dessutom behov av massor på uttjänade deponier som bör tillgodoses. Ifall massor ändå

återanvänds tycker hon att det är viktigt att massornas läge och föroreningsgrad dokumenteras, så att det finns kännedom om föroreningar ifall området ska exploateras ytterligare eller om några problem uppstår. Swahn avslutar med att de psykologiska aspekterna hos de människor som ska bo på området måste beaktas och att tankesättet måste vara långsiktigt.

Magnusson (Miljöförvaltningen i Stockholms stad). Magnusson kan inte säga någonting generellt om återanvändning av schaktmassor, men poängterar att Miljöförvaltningens roll som tillsynsmyndighet är att försvara de som kommer att bo på platsen samt djur och växter som inte kan tala för sig själva, samtidigt som man måste beakta vilka åtgärder som är samhällsekonomiskt motiverade.

Skönström och Holmbom Björkman (Exploateringskontoret i Stockholms stad). Exploateringskontoret strävar efter att så stor del som möjligt av alla schaktmassor ska återanvändas. Skönström anser att schaktmassor under de storstadsspecifika riktvärdena för det aktuella markscenariot kan återanvändas inom området. Detta förutsätter dock att området består av redan brukad mark. Ifall måttligt förorenade massor ska tillåtas att återanvändas på en annan byggplats än den de kommer ifrån är hon dock osäker på, då krävs i varje fall en dialog med Miljöförvaltningen. Hon påpekar att vissa typer av schaktmassor dessutom är svåra att återanvända, till exempel lera som inte har bra dränerande egenskaper. Vidare menar Skönström att de flesta deponier som behöver täckmassor ligger långt från Stockholm. Hon manar till ett helhetstänkande, där massor inte skickas kors och tvärs över landet med energikrävande transporter i onödan.

Karlsson (NCC). Möjligheten att genom återanvändning av schaktmassor minska transporter till och från byggarbetsplatsen ser Karlsson mycket positivt på. Hon betonar dock vikten av kontroll och dokumentation av de schaktmassor som återvinns. Planeringen för hur schaktmassor placeras måste vara långsiktig eftersom detaljplaner ofta ändras i storstadsmiljö. Ifall till exempel bostadshus byggs på en tomt där det tidigare legat ett parkeringshus ställer detta helt nya krav på markkvaliteten. Hon påpekar att Naturvårdsverket tydligt anger att det inte är tillåtet att förorena upp till en viss riktvärdesnivå, vilket gör att det i dagsläget för det mesta inte finns några andra alternativ än att skicka alla schaktmassor till en deponi. Hon tror dock att den nya avfallshierarkin kan öppna upp frågan.

5.4 MÖJLIGHETER MED MILJÖGEOTEKNISKA 3D-MODELLER

Fråga: Vilka möjligheter ser du/ni för miljögeotekniska 3D-modeller i framtiden?

Strauss (Naturvårdsverket). Fördelar med miljögeotekniska 3D-modeller tror Strauss är att schaktvolym och kostnader lätt kan uppskattas och beräknas. Däremot ställer han sig kritisk till möjligheten att omsätta den teoretiska modellen över masshanteringen till praktiken. Strauss har tidigare arbetat som byggingenieur, och anser att det är för svårt att hålla reda på massor med olika destinationer på en byggarbetsplats.

Swahn (Länsstyrelsen i Stockholms län). Swahn tror att modellen har utvecklingspotential, dock anser hon sig vara för dåligt insatt i funktionerna hos 3D-modeller för att göra några mer specifika uttalanden.

Magnusson (Miljöförvaltningen i Stockholms stad). Magnusson är mycket positiv till möjligheterna att använda en 3D-modell för att grafiskt illustrera föroreningarna läge

och hur massor kan återanvändas inom området. Det skulle enligt honom kunna underlätta då markägaren motiverar för Miljöförvaltningen hur man vill hantera schaktmassor och föroreningar. Han tror att det finns mycket pengar att spara på att planera masshanteringen i ett tidigt skede av byggprojektet, eftersom förseningar är dyra när byggarbetet väl kommit igång. Logistiken av de massor som ska återanvändas är enligt Magnusson en viktig del av planeringen, då de eventuellt måste lagras någonstans på eller i närheten av byggarbetsplatsen innan de kan användas.

Skönström och Holmbom Björkman (Exploateringskontoret i Stockholms stad).

Skönström och Holmbom Björkman anser att miljögeotekniska 3D-modeller har stor potential. De är övertygade om att den nya datavana generationen som kommer in i arbetslivet från och med nu kommer att ta med sig 3D-tekniken, dock tror de att teknikskiftet kommer att ta tid eftersom många som arbetar inom byggteknik idag inte är vana vid att arbeta i 3D. De anser att modellens främsta fördel är att kunna visa på den stora mängden överskottsmassor som uppstår i de flesta byggprojekt. Att höra hur stora jordvolymerna verkligen handlar om kan få de inblandade i ett projekt att komma till insikt om problemet. Möjligheten att använda 3D-modeller direkt i arbetsmaskinerna ser de mycket positivt på, men anser att steget mellan teorin och praktiken är en utmaning då förare av arbetsmaskinerna måste vara väl insatta i hur 3D-modellen fungerar. Ytterligare en fördel med 3D-modeller tycker Holmbom Björkman är att de kan användas som databas. All information kan läggas in direkt i modellen och hittas genom en enkel knapptryckning. De projekt som modellen passar bäst i tror de är stora, komplexa projekt i kuperad terräng.

Karlsson (NCC). Karlsson tror att 3D-modellen kan fungera mycket bra som databas för att lagra information över vilka provtagningar som har gjorts och hur massorna har hanterats. Vidare tycker hon att det är mycket viktigt att ha tydliga kvalitetskrav på indata till modellen, så att risken minimeras att föroreningar missas och modellen visar en felaktig situation på grund av för få provtagningar. Tillräckligt antal slumpmässiga prover måste tas för att ge ett statistiskt säkerställt resultat.

6. ARBETSBESKRIVNING FÖR MILJÖGEOTEKNISK 3D-MODELL

Miljögeotekniska 3D-modeller har många fördelar, men innebär också en kostnad att införa i exploateringsprojekt. I detta kapitel behandlas vad som krävs för att nyttjandet av miljögeotekniska 3D-modeller ska fungera, samt rekommendationer baserade på hur användandet av 3D-modellen i Johannelundsprojektet upplevdes. Arbetsbeskrivningen är baserad på författarens eget arbete med att skapa modeller samt muntlig kommunikation med involverade i Johannelundsprojektet och andra kunniga inom området. Beskrivningen utgår från funktionerna hos Bentley Systems programvaror, vilka var de som användes i Johannelundsprojektet. Informationen i detta kapitel hålls översiktlig när det gäller det tekniska, med syftet att samtliga inom markexploateringsprojekt ska kunna tillgodogöra sig informationen utan att vara insatta i hur data-programmet fungerar.

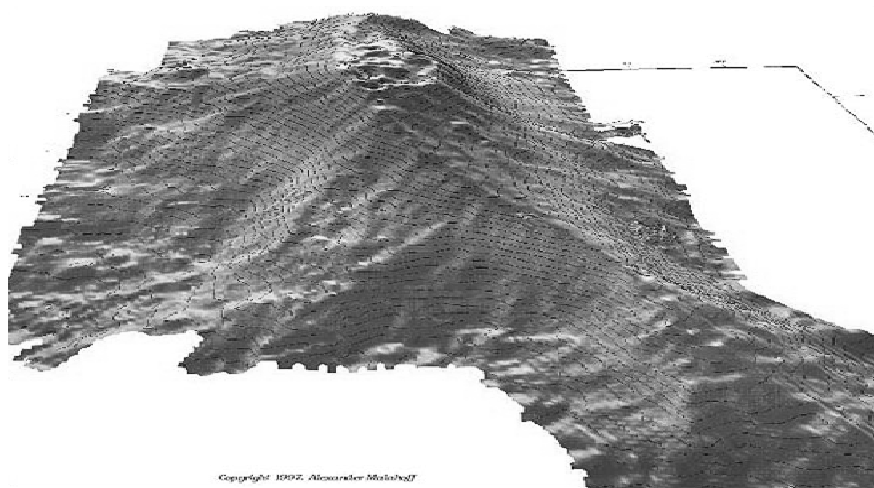
För att arbetet med en miljögeoteknisk 3D modell ska bli lyckat krävs det tre grundläggande delar:

1. Ett fullgott dataunderlag till modellen
2. En tydlig arbetsordning för att skapa en miljögeoteknisk 3D-modell
3. Rätt personalkompetens hos dem som ska arbeta med modellen.

Nedan följer råd och rekommendationer för att uppnå de tre nämnda delarna.

6.1 DATAUNDERLAG

Ett fullgott dataunderlag är en grundförutsättning för att skapa en miljögeoteknisk 3D-modell som överensstämmer på ett tillfredsställande sätt med verkligheten. Dataunderlaget inkluderar en grundkarta samt information om områdets geotekniska förhållanden och föroreningsituation. Informationen samlas in från arkiv, fältundersökningar och analyser av jord- och vattenprover. Av detta underlag skapas en så kallad *digital terrängmodell*, det vill säga en tredimensionell datamodell som visar hur markytan med höjder och sänkor ser ut i det aktuella området, hur olika lager av till exempel lera och berg breder ut sig under marken samt hur föroreningsituationen ser ut, se Figur 7.



Figur 7 Digital terrängmodell av havsbotten (Malahoff, 2009 med tillstånd).

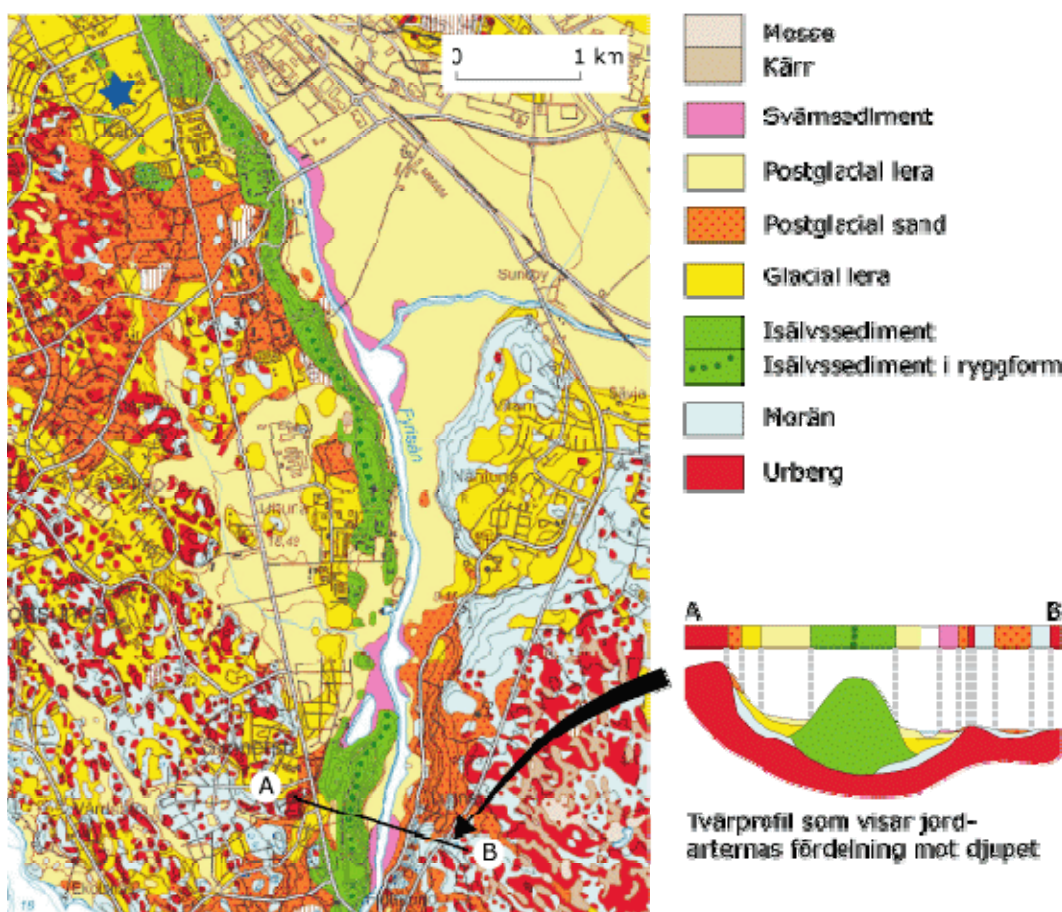
Nedan följer en översikt över den information som behövs för att skapa en digital terrängmodell:

1. *Befintlig grundkarta från arkiv*

Det första steget för att skapa en digital terrängmodell är att ta fram mätteknisk information om området från arkiv. En sådan terrängkarta kan fås från Lantmäteriet, och inkluderar områdets höjder, sänkor, vattendrag och beskrivning av olika markslag (Lantmäteriet, 2009a).

2. *Dokumenterad geoteknik*

Nästa steg är att ta fram översiktlig information om berggrunds nivå, jordlager och grundvattenförhållanden. Denna information fås från arkiv över utförda geotekniska undersökningar i närområdet och från mer allmänna arkiv som till exempel SGU:s kartdatabaser över jordarter, berggrundsgeologi och hydrogeologi. Jordartskartorna visar jordarternas utbredning i området, se Figur 8. De berggrundsgeologiska kartorna innehåller information om berggrundens utbredning, art och tektonik, och de hydrogeologiska kartorna visar lokaliseringen av stora grundvattenmagasin, grundvattenflödet och grundvattennivån under olika delar av året (SGU, 2009a).



Figur 8 Jordartskarta över Uppsala © Sveriges geologiska undersökning (2009b).

3. *Dokumenterad föroreningsituation*

Det finns ofta dokumentation om den aktuella platsens industrihistoria, kända läckage, avfallshantering och tidigare provtagningar. Geokemisk information om marken, det vill säga information om vilka ämnen marken innehåller, kan eventuellt finnas

dokumenterad. Denna fås från SGU och kan ge indikationer på till exempel höga metallhalter i området (SGU, 2009). Sammanvägt med platsens historia ger detta en överblicksbild över den möjliga föroreningssituationen och kan användas som underlag då provtagningsplanen bestäms.

4. Mätteknisk undersökning

Den inledande fältundersökningen är en mätteknisk analys av höjder och utseende på platsen med syftet att samla in underlag till en mer detaljerad terrängmodell i data-programmet. Ett flertal punkter i området mäts in med x-, y- och z-koordinater. De inmätta koordinaterna sätts i förhållande till Lantmäteriets rikstäckande referenssystem. För x- och y- koordinater finns ett referenssystem som kallas Sweref99 och för z-koordinater ett som kallas RH 2000 (Lantmäteriet, 2009b).

5. Geoteknisk undersökning

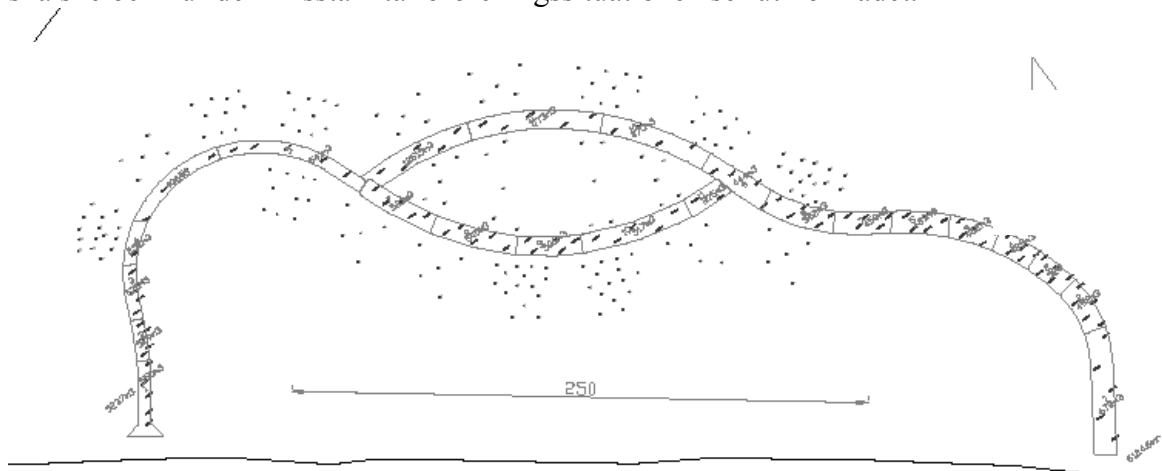
Geotekniska undersökningar görs för att bestämma olika typer av jordlager, berggrundens nivå samt grundvattenytan. Med hjälp av den geotekniska undersökningen är det möjligt att ta reda på till exempel eventuella sprickzoner i berggrunden och mäktighet hos lerlagret. Vidare utreds markens sättningsbenägenhet och skredrisk. Dessa data läggs sedan in i den digitala terrängmodellen så att även modellens geotekniska del blir mer detaljerad.

6. Översiktlig miljögeoteknisk undersökning

En översiktlig miljögeoteknisk undersökning görs för att utreda om det förekommer naturliga eller antropogena föroreningar på platsen. Jord- och vattenprover tas i det aktuella området och analyseras för att hitta olika typer av föroreningar. Resultatet av undersökningen kan sedan illustreras grafiskt i 3D-modellen genom att provpunkter och föroreningsnivå på olika djup läggs in.

7. Fördjupad miljögeoteknisk undersökning

Ifall den översiktliga miljögeotekniska undersökningen visar på förhöjda halter för föroreningar utförs en noggrannare undersökning för att identifiera vilken föroreningshalt de schaktmassor som kommer att grävas upp har. Förslag på provpunkters läge och antal kan läggas in och visualiseras i 3D-modellen för att underlätta beslut om hur provtagningsprogrammet ska se ut, se Figur 9. Beslutet baseras på var grundläggning ska ske och hur den misstänkta föroreningssituationen ser ut i området.

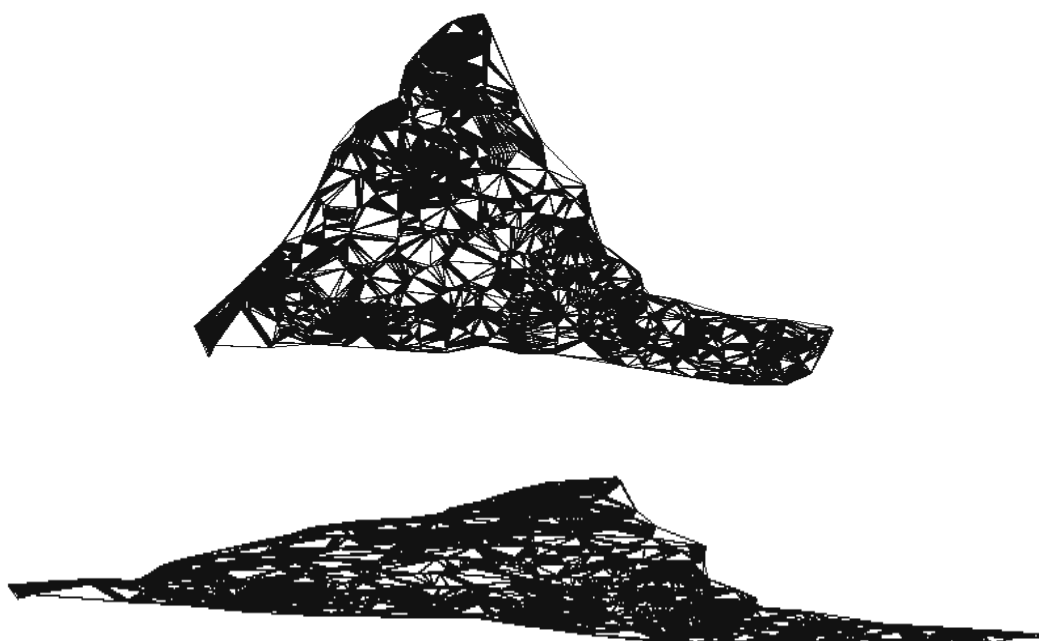


Figur 9 Provtagningsprogrammet för planerad bebyggelse i Johannelund. Provtagningspunkterna syns som prickar i bilden. Enheten i figuren är meter.

6.2 ARBETSORDNING

1. Skapa digital terrängmodell

Det första steget för att skapa en miljögeoteknisk 3D-modell är att göra en grundläggande digital terrängmodell över markytan i området. Därefter läggs flera digitala terrängmodeller in som lager, till exempel bergrund, fyllning och grundvattenyta, se Figur 10. Den grundläggande digitala terrängmodellen görs oftast genom att mättekniker lägger in alla på platsen uppmätta värden som punkter i x-, y- och z- led i ett speciellt dataprogram anpassat för mätvärden. Dessa filer överförs sedan till applikationsprogrammet och punkterna binds samman till en yta genom den matematiska metoden *triangulering*. Triangulering betyder att läget på en punkt bestäms ur det relativa läget och vinklarna till två andra punkter (Nationalencyklopedin, 2009). Det sista steget för att skapa den digitala terrängmodellen är att lägga in befintliga diken, vägar och trottoarkanter.



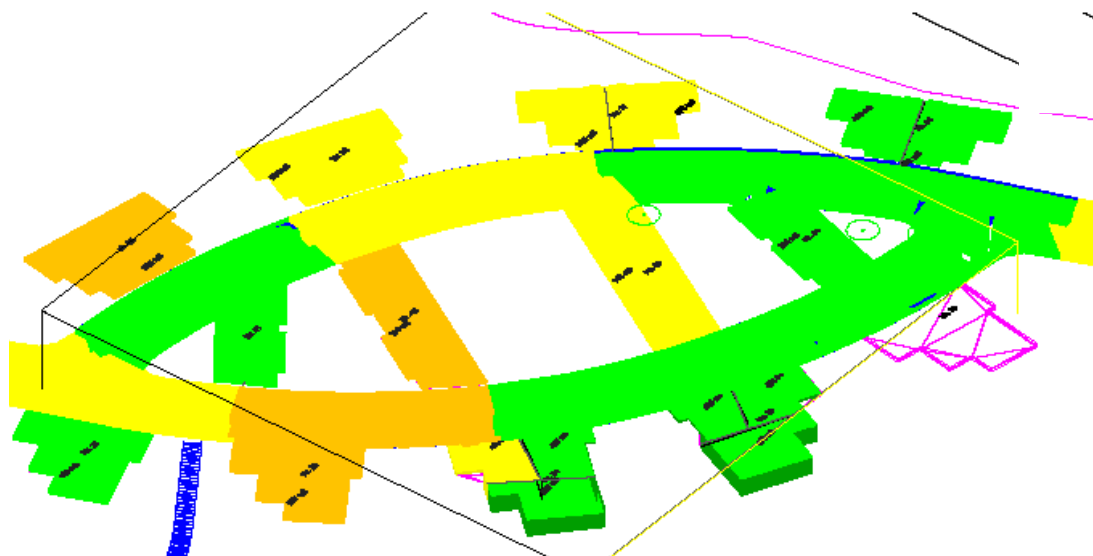
Figur 10 Triangulerad digital terrängmodell över lerlagret i Johannelund sedd ovanifrån och från sidan.

2. Inläggning av föroreningssituationen

Nästa steg är att lägga in föroreningssituationen i den digitala terrängmodellen. Efter provtagning och analys delas marken upp i enhetsvolymerna och delas in i klasser efter föroreningshalt. Storleken och utseendet på enhetsvolymerna bör varieras efter hur föroreningssituationen ser ut i området. Ifall marken består av fyllnadsmassor och förhöjda halter föroreningar endast förekommer på enstaka ställen utan något mönster och i relativt låga koncentrationer kan enhetsvolymerna vara ganska stora. Ifall det däremot är en gammal industriplats, eller någon annan plats där föroreningarna förekommer mer homogent, till exempel i ploymer, bör enhetsvolymerna vara anpassade för att ringa in de förorenade massorna.

Data över enhetsvolymerna läggs in i applikationsprogrammet och visualiseras i CAD-programmet, där olika föroreningshalter kan markeras i olika färger. Nu kan en karta i 3D som ger en klar bild över hur föroreningssituationen ser ut i området visas. En sådan 3D-modell skapades som en del av detta examensarbete, se Figur 11. Denna karta kan användas som underlag för beslut om vilka schaktmassor som ska återanvändas och

vilka som ska skickas på deponi. Arbetssättet underlättar även för byggentreprenörerna som i ett tidigt skede kommer att veta vilken jordklass massorna som de ska schakta bort tillhör samt hur dessa massor ska hanteras.



Figur 11 Del av modell av enhetsvolymen klassade efter föroreningsgrad i Johannelund. För komplett modell se Bilaga C.

3. Modellering av området

När grundkartan över det befintliga området väl är skapad och föroreningssituationen klarlagd kan planering av masshanteringen börja. Schaktvolymer av olika jordklasser beräknas med hjälp av 3D-modellen och möjligheter till att återanvända schaktmassor till utfyllnad i bygget utreds, samt om det går att förbättra landskapsbilden i närområdet genom att till exempel fylla ut kullar eller höja marknivån. Beräkningarna kan snabbt uppdateras och specificeras efter hand vid förändringar i topografin, till exempel ändrat schaktdjup eller utfyllningsnivå. Geotekniska beräkningar av marken görs för att utreda skredrisk och sättningsbenägenhet.

4. Logistisk planering

Sista steget är att göra en logistisk plan över flödet av schaktmassor i mark-exploateringsprojektet. När planen görs måste hänsyn tas till platsbrist och framkomlighet inom området, två faktorer som ofta är kritiska inom storstadsexploatering. En lämplig sorteringsplats utses, där schaktmassor tillhörande olika klasser placeras i olika högar. Transport till deponier planeras in med målet att minimera kostnad och bränsleutsläpp.

6.3 PERSONALKOMPETENS

Att införa ett nytt dataverktyg som inte särskilt många medarbetare i ett projekt är vana vid innebär en utmaning. Det är lätt att medarbetarna faller tillbaka på den gamla tekniken när problem uppkommer om de inte har tillräcklig kunskap och motivation för att lära sig den nya teknologin (Mårtensson, 2001). Under Johannelundsprojektet uppstod det en del svårigheter då det inte fanns någon förutbestämd arbetsordning för 3D-modeller eller några rutiner för datasamordning inom projektet. Det är av största vikt att entreprenören som ska utföra schakten är införstådd i syftet med modellen och

vet hur den ska användas. Risken är annars att 3D-modellen endast blir en kontorsprodukt som aldrig används i praktiken på byggarbetsplatsen.

Det finns fyra kategorier av personal som kommer i kontakt med programvaran för en miljögeoteknisk 3D-modell i ett exploateringsprojekt: beställare, konstruktörer, CAD-projektörer och entreprenörer. Alla ska använda 3D-modellen på olika sätt och behöver olika tekniska kunskaper.

Beställaren ska kunna granska modellen, och vara tillräckligt insatt för att kunna beställa specifika lager, analyser och beräkningar samt delge sina åsikter om hur projektet ska vidareutvecklas.

Konstruktörer inkluderar alla tekniker involverade i ett projekt som inte har 3D-projektering som sitt huvudsakliga kompetensområde, till exempel miljögeotekniker, arkitekter och landskapsarkitekter. Av dessa kommer det att krävas att de levererar sina ritningar som filer i ett tredimensionellt format som kan läsas av programvaran. De behöver dessutom enkelt kunna hämta information från programmets databas.

CAD-projektörer har datamodellering som sitt huvudområde och är de som ska lagra in data, skapa och korrigera själva modellen.

Entreprenörer måste kunna läsa modellen och beställa ritningar över sina schaktarbeten och hur schaktmassorna ska hanteras.

Ifall 3D-modellen ska införas i ett projekt behöver således personal som ska arbeta med modellen få tillgång till kompetensutveckling. Chefer bör på ett tidigt stadium informera om att arbetet ska ske med det nya dataverktyget, och vara beredda att investera tid och pengar i projektet. Trots de många fördelarna med miljögeotekniska 3D-modeller och att tekniken tycks stå för framtiden kräver omställningen både tid och kunskapsinvestering.

6.4 REKOMMENDATIONER

Här följer rekommendationer för ett lyckat arbete med miljögeotekniska 3D-modeller. Rekommendationerna är baserade på muntlig kommunikation med inblandade i Johannelundsprojektet och eget arbete med 3D-modellen.

Hög kvalitet på indata

En modell är alltid en mer eller mindre korrekt *bild* av verkligheten. Alla ytor och volymer som är inlagda och beräknade i modellen bygger på interpolationer av hur marken och föroreningssituationen ser ut mellan mätpunkterna. Felkällor som slarvigt hanterade jordprover, mätfel och risk för att flyktiga oljeföroreningar försvinner innan jordprovet analyserats tillkommer dessutom. Hur stora felen blir beror helt på indatas kvalitet; ju fler mätpunkter och ju noggrannare mätningar desto högre säkerhet har modellen. Därmed inte sagt att det inte går att lita på de värden som räknats fram i modellen. Har arbetet gjorts noggrant stämmer de bra, men det är viktigt att vara medveten om att en felmarginal existerar.

Hanterbar mängd indata

Trots att kvaliteten på modellen är helt beroende av kvaliteten på indata gäller det att inte ha mer information än vad som kan hanteras inom projektet. Att bearbeta och lägga in data tar mycket tid. Projektet kan istället påbörjas med att de viktigaste data väljs ut

och läggs in i modellen, och sedan kan datamängden fyllas på efter hand beroende på krav på modellens kvalitet och variabler, samt tillgängliga resurser inom projektet.

Höjddata i kurvor, inte i punkter

För att lägga in höjder eller sluttningar i modellen kan höjden antingen läggas in i punkter eller i kurvor. På en traditionell karta, till exempel för orientering, är höjden på kullar och berg inlagd i höjdkurvor. Vid landskapsprojektering förekommer det däremot att höjden läggs in punktvis istället. När det gäller 3D-modeller skapas dock en stor osäkerhet ifall höjdinformation läggs in i punktform, sådan information säger nämligen ingenting om hur höjden varierar mellan punkterna och höjddata måste interpoleras över mycket stora ytor. Det är i så fall betydligt säkrare att lägga in höjdkurvor, vilka tydligare visar höjdvariationer i landskapet och är relativt säkra att interpolera mellan.

Begränsat antal klasser

När schaktmassorna ska indelas i klasser efter föroreningsgrad och möjlighet till återanvändning är det viktigt att inte ha alltför många olika kategorier, då detta blir mycket komplicerat logistiskt sett när konstruktionsarbetet sätter igång. På en bygg-arbetsplats råder det ofta plats- och tidsbrist, särskilt i storstäder där marktillgången är begränsad. Helst ska förorenade massor, som inte får återanvändas inom området, skickas till en hanteringsstation direkt efter schakt för att inte blandas ihop med åter-användningsbara massor. I Johannelundsprojektet valde man att endast ha tre olika kategorier av schaktmassor, *Fri återanvändning* (utom vid daghem), *Återanvändning i parkmark* och *Icke återanvändningsbara*. Klassen *Icke återanvändningsbara* innebär att schaktmassorna skickas till en hanteringsstation. Ytterligare kategorier som till exempel *Återanvändning under hårdgjorda ytor* användes inte eftersom endast mycket små volymer skulle ha ingått i denna klass samtidigt som återanvändning av schaktmassor med den föroreningsgraden skulle kräva extra miljökontroll vid exploateringsarbetet.

All projektering i 3D

Många projektörer inom olika kompetensområden är inblandade i ett exploaterings-projekt, och för att få arbetet med 3D-projekteringen att löpa så smidigt som möjligt är det viktigt att samtliga projektörer levererar sitt material i 3D-format. Detta underlättar sammansättning och uppdateringar av modellen samt minskar risken för misstag. I Johannelundsprojektet skedde projekteringen delvis i 2D vilket orsakade mycket extraarbete för den ansvariga 3D-projektören som var tvungen att omvandla formatet på många filer. Risken för fel ökar när en person som inte har gjort ritningen och inte vet hur området är tänkt att se ut måste lägga in en extra dimension. Här har även beställaren ett ansvar, och måste vara tydlig med att allt material ska levereras i 3D.

Projektörer deltar i planeringsmötena

För att modellen ständigt ska kunna uppdateras på ett korrekt sätt bör projektörerna delta i planeringsmötena när det masshanteringsplan, schaktning och bebyggelse hanteras. I Johannelundsprojektet hamnade uppdateringarna i modellen efter då kommunikationen mellan beställare och projektörer inte var tillräckligt tät.

Datasamordnade

Mängden data som hanteras i ett exploateringsprojekt är ofta mycket stor och levereras av en mängd olika personer. Det bör finnas en person som har rollen som data-samordnare för att hålla ordning på data från olika delar av projektet. Datasamordnaren bör dessutom tilldelas auktoriteten att skicka tillbaka filer som inte är färdigbehandlade och kräva att få dem i rätt format.

Beställare får ökad insyn i projekt

Ett av önskemålen med 3D-modellen från Stockholms stads sida var att tekniken skulle förbättra kommunens insyn i exploateringsprojekt. Då all projektering sköts av konsulter har medarbetare på Stockholms stad uttryckt att de inte känt sig delaktiga i planeringen av projekt trots att kommunen varit både markägare och beställare. Möjligheten till ökad insyn är stor genom användandet av 3D-modeller. Modeller kan enkelt skickas via e-post som tredimensionella pdf-filer som mottagaren kan vrida och vända på. Inget avancerat dataprogram behövs för att läsa filerna, utan det räcker med ett enkelt gratisprogram som Adobe Reader. Stockholm stad rekommenderas ändå att införskaffa MicroStation eller AutoCAD trots den extra kostnad det innebär om de vill ha ett mer aktivt medverkande och även kunna tända och släcka olika lager i modellen och använda modellen som databas. Projekteringsverktyget InRoads behöver Stockholm stad däremot inte köpa in, eftersom detta endast är ett verktyg för att behandla data och göra beräkningar.

Databas

Modellen fungerar som en databas där all viktig information finns inlagd och enkelt går att komma åt med en knapptryckning. Det innebär ofta en stor tidsvinst att inte behöva leta igenom papper och pärmar i arkiv, utan att direkt kunna söka och ta fram den informationen digitalt. Det blir även lättare att gå tillbaka och se exempelvis vilka provpunkter som valdes ut vid första provtagningen och hur dessa såg ut. Sådan bakgrundsinformation är annars ofta svår att hitta i ett senare skede av processen.

Strukturerade filer

I Johannelundsprojektet upplevde medarbetare vid Stockholms stad att det var svårt att hitta specifika kartor och information i 3D-modellen, eftersom det fanns en mängd olika filer med namn svårtydda för den som inte själv skapat modellen. För att alla medarbetare ska känna sig bekväma med att använda 3D-modellen som databas krävs det att information är lätt att hitta och att filsystemet upplevs som strukturerat. Ett strukturerat filsystem innebär till exempel att alla filer har namn och en tillhörande beskrivning som tydligt visar vad de innehåller och alla modeller finns samlade under en gemensam flik.

Kompetensutveckling och krav på entreprenörer

Själva byggutförandet är, som tidigare nämnts, kanske det viktigaste steget i arbetsprocessen med miljögeotekniska 3D-modeller. Ifall inte entreprenörerna använder sig av det som beräknats i 3D-modellen och följer beställarens anvisningar angående masshantering har hela arbetet med 3D-modellen varit lönlöst. Det är nödvändigt med en viss kompetensutveckling inom 3D-modeller hos entreprenörerna, och det krävs även att beställaren ställer tydliga krav på att entreprenörerna följer planen för masshantering.

7. PROGRAMVAROR FÖR MILJÖGEOTEKNISK 3D-MODELL

7.1 INTRODUKTION

Det finns en mängd olika CAD-program som går att använda för 3D-visualisering och massberäkning. I Johannelundsprojektet användes Bentley Systems program Micro-Station och InRoads. Enligt projektören Berkan (muntl. komm., 2009) var det ”kombinationen av ett relativt användarvänligt program med mycket bra 3D-funktioner och tillräckligt kraftfullt för att hantera alla delar av projektet var det som avgjorde valet för den miljögeotekniska 3D-modellen i Johannelund i slutändan”. Alla som intervjuades angående modellen i detta projekt var dock överens om att det finns flera andra programvaror som skulle kunna fungera för miljögeotekniska 3D-modeller.

7.2 FUNKTIONSKRAV PÅ PROGRAMVAROR

Funktionskraven på en programvara för att den ska passa till en miljögeoteknisk 3D-modell är följande.

1. **Visualisering**

Modellen behöver ett CAD-program där föroreningsituation och markens geotekniska egenskaper kan illustreras.

2. **Massberäkning**

Massberäkningar av jordvolymen ska kunna göras i programmet.

3. **Bebyggelse**

VA-system, el, vägar och hus ska kunna läggas in i modellen.

4. **Kommunikation**

En mycket viktig faktor att ta hänsyn till är möjligheterna att lägga in indata från fältundersökningar och få ut utdata i form av 3D-modeller från programvaran. Dessutom är programvarans potential att kommunicera med olika CAD-program av betydelse. Följande kommunikationskanaler krävs:

- a) **Indata**

Indata från fältundersökningarna ska kunna lagras i modellen. Dessa kan härstamma från många olika källor, till exempel mätinstrument.

- b) **Utdata**

Utdata, det vill säga de färdiga modellerna, måste kunna presenteras i olika format. Det är en fördel om utdata kan visas som 3D-pdf där beställaren enkelt kan granska modellen i ett gratisprogram. En CAD-fil på flera hundra MB kan visas som en 3D-pdf på endast ett par MB.

- c) **Kommunikationen med olika CAD-program**

Eftersom det är så många olika aktörer inblandade i ett exploateringsprojekt är det en stor fördel om data kan hämtas och användas från olika CAD-programvaror. Det finns ett dataformat speciellt utvecklat för informationsutbyte mellan program, LandXML, som används av de flesta stora CAD-tillverkarna. Tillgång till LandXML är ett plus för ett lämpligt program för miljögeoteknisk modellering. Dock gör LandXML det inte möjligt att visa och redigera 3D-CAD modeller i olika data-program, för detta måste rätt filformat på modellerna användas.

7.3 FÖRSLAG PÅ PROGRAMVAROR

För att underlätta valet av programvara när en miljögeoteknisk 3D-modell ska skapas har fyra CAD-program valts ut och granskats översiktligt. De utvalda programvarorna är *AutoCAD* med applikationsprogrammen *Map 3D* och *Civil 3D*, *Novapoint Terräng*, *Topocad Bas* och *MicroStation*. Dataprogrammen har valts ut dels från rekommendationer från intervjuade projektörer, och dels från rapporter där olika programvaror testats. Det finns två olika filformat som används av CAD-programmen, AutoCADs format dwg och MicroStations format dgn. I vissa fall kan programmen hantera båda formaten. För resultatet av granskningen se Tabell 8.

Tabell 8 Kvaliteter hos utvalda programvaror.

Program	AutoCAD Map 3D/Civil 3D	Novapoint Terräng	Topocad Bas	MicroStation
Ytor och volymberäkningar	Ja	Ja	Ja	Ja
Visualisering	Bra	Bristfällig, endast 3D-rutnätsmodell.	Bra	Bra
Filformat	LandXML och dwg	LandXML och dwg	LandXML, dwg och dgn	LandXML, dwg och dgn
3D-pdf	Ja	Ja	Ja	Ja
Fördelar	Direktkopplat till GIS / BIM	Data direkt från fältutrustning. Geotekniska beräkningar.	Direktkopplat till GIS. Data direkt från fältutrustning. dwg och dgn	Mycket bra 3D-funktioner. Kan hantera stora filer. dwg- och dgn.
Nackdelar	Har ej dgn-format	Bristfällig visualisering	Ganska få användare.	Ej inbyggt BIM och GIS.

Sammanfattningsvis finns det flera programvaror som har potential att fungera för en miljögeoteknisk 3D-modell. En djupare studie av dessa behöver dock göras för att kunna säga något mer exakt om vilket eller vilka av programmen som bäst lämpar sig för att skapa en miljögeoteknisk 3D-modell i.

8. DISKUSSION OCH SLUTSATSER

8.1 DISKUSSION

Ekonomisk och miljömässig utvärdering av Johannelundsprojektet

De ekonomiska och miljömässiga beräkningarna som gjorts är anpassade till de förhållanden som råder i Johannelund, men det är enkelt att göra liknande beräkningar för andra exploateringsprojekt. Några kommentarer till beräkningar och antaganden är att emissioner från arbetsfordon vid återanvändning av massor på byggarbetsplatsen inte är medräknade, då detta var svårt att uppskatta. Vidare följer de kostnader för deponering av massorna som har använts ett speciellt avtal mellan Stockholms stad och deponeringsstationen Högbyskär, och är relativt låga jämfört med de marknadsgällande priserna. Emissionsdata från Volvo lastvagnar härstammar från år 2003, ifall nyare modeller används blir emissionerna av skadliga ämnen mindre. Det kan dock antas att både gamla och nya lastbilsmodeller används inom transportsektorn, och data borde därför ändå vara representativa. Emissioner varierar kraftigt beroende på körsätt, hastighet och lastbilens skick.

De beräkningar som har gjorts är inte heltäckande, många fler faktorer hade kunnat inkluderas om till exempel en livscykelanalys hade gjorts på jordmassorna. Exempel på sådana faktorer är vad som skulle ha hänt med massorna ifall de deponerats, och hur mycket utsläpp och hur stor miljöpåverkan som skulle ha uppkommit om nybrutna massor använts för utfyllnad runt husen. Trots osäkerheter i antaganden och variationer vid olika exploateringsprojekt indikerar resultaten på att både miljöpåverkan och kostnader kan minskas avsevärt ifall schaktmassor återanvänds.

Intervjuer med myndigheter och intressenter

Intervjuerna med myndigheter och intressenter bekräftade bilden från litteraturstudien av lagstiftning och förordningar att dessa kan tolkas på flera sätt, och att det finns meningsskiljaktigheter om såväl riktvärden som hantering av schaktmassor.

När det gäller riktvärden tycks Naturvårdsverkets riktvärden vara de mest vedertagna, och är också de som har funnits under längst tid. De storstadsspecifika riktvärdena framhölls som ett användbart alternativ av de intervjuade på Exploateringskontoret, som är en av initiativtagarna till dessa riktvärden, men möttes av en del skepsis bland de intervjuade personerna på Naturvårdsverket, Länsstyrelsen och Miljöförvaltningen.

Angående återanvändning av schaktmassor rådde det olika åsikter om *var* dessa massor skulle återanvändas. Strauss från Naturvårdsverket ansåg att icke-förorenade schaktmassor i första hand ska användas för att täcka uttjänta deponier och fick medhåll av Swahn från Länsstyrelsen. Skönström och Holmbom Björkman på Exploateringskontoret samt Karlsson på NCC ansåg däremot att schaktmassor bör återanvändas inom exploateringsprojekt och framhöll de miljömässiga fördelarna med att reducera transporter av schaktmassor. Alla tycks i alla fall vara överens om att åtminstone schaktmassor med föroreningshalter under KM bör återanvändas på något sätt.

Majoriteten av de intervjuade personerna ser positivt på att använda 3D-modellen i markexploateringsprojekt. Främst ses möjligheter att använda modellen som databas, för kvalitetskontroll av beräkningar, för planering och för att underlätta kommunikationen mellan olika parter i exploateringsprojektet. Utmaningen som att använda

modellen i praktiken på byggarbetsplatsen av både Strauss på Naturvårdsverket och Skönström och Holmbom Björkman på Exploateringskontoret. 3D-modeller för geoteknik används redan i dagsläget, svårigheten med den miljögeotekniska 3D-modellen skulle antagligen ligga i att få masshanteringsplanen att fungera logistiskt och inte själva användandet av modellen i grävmaskinerna. Det är svårt att göra någon bedömning av dessa eventuella svårigheter i dagsläget, eftersom byggskedet i Johannelund ännu inte startat. Däremot är det positivt att medarbetare på Exploateringskontoret är medvetna om eventuella svårigheter med att implementera modellen i verkligheten, eftersom de då kan vara noggranna med detta steg i processen, och ställa tydliga krav på att byggtreprenörerna använder sig av den masshanteringsplan som har fastställts. Byggstarten i Johannelund närmar sig i skrivandets stund, så resultatet av projektet kommer snart att kunna studeras närmare. Sammanfattningsvis tror samtliga intervjuade att 3D-modellen har potential, men majoriteten framhåller samtidigt vikten av långsiktighet och noggrann kontroll av markkvaliteten innan schaktmassor återanvänds.

Arbetsbeskrivning för miljögeoteknisk 3D-modell

Den information som behövs för att skapa underlaget till en digital terrängmodell i ett markexploateringsprojekt är i grund och botten densamma som den som krävs i exploateringsprojekt där ingen datamodell används. Fältundersökningar genomförs alltid i mätteknik, geoteknik och miljögeoteknik vid storstadsexploatering. Skillnaden då modellen skapas är att all information efterhand samlas på ett och samma ställe, och kan visualiseras grafiskt. Detta ger tidigt i planeringen en övergripande bild av exploateringsområdet. En stor fördel med 3D-modellen jämfört med traditionellt genomförda exploateringsprojekt är att beräkningar lätt kan göras både snabbt och säkert, och är lätta att uppdatera då olika förslag på masshantering diskuteras.

Angående de rekommendationer som gavs så har en del av dessa uttryckts av 3D-projektörer i Johannelundsprojektet. En del av rekommendationerna kan därför vara ur 3D-projektörernas synvinkel, till exempel att allt material ska levereras i 3D, och att datasamordnaren ska tilldelas auktoriteten att skicka tillbaka filer som inte är färdigbehandlade. Dessa åsikter är naturligtvis viktiga och ska tas hänsyn till i projektet, men det kan å andra sidan vara svårt och kostsamt för samtliga som ska leverera data inom projektet att lära sig 3D-tekniken.

De viktigaste förbättringarna för framtida användning av 3D-modellen är ett strukturerat filsystem där alla medarbetare vet var de kan hitta efterfrågad information. Det vore dessutom önskvärt med en genomgång av enkla funktioner i dataprogrammet inom projektet för att 3D-modellen ska kunna användas till sin fulla kapacitet så att alla involverade kan utnyttja den som databas och som ett sätt att följa med i projekteringen.

Programvaror för miljögeoteknisk 3D-modell

Det är en fördel att miljögeotekniska 3D-modeller inte är bundna till en specifik programvara, utan att programvalet kan anpassas till organisationens förutsättningar. MicroStation har dock ett stort antal fördelar som har framförts av intervjuade projektörer under studien, som att programmet är 3D-baserat, att det kan hantera mycket stora filer och dessutom importera och exportera filer till AutoCAD, Novapoint och Topocad. Det finns ännu ingen BIM-anpassning för InRoads, men eftersom Bentley Systems har börjat inkludera BIM i många av sina andra program är det troligtvis bara en tidsfråga innan det kommer.

Användningsområden för miljögeoteknisk 3D-modell

Miljögeotekniska 3D-modeller är ett användbart verktyg för mängdberäkningar och för att illustrera den föroreningssituation som nästan alltid förekommer i exploateringsprojekt i storstäder. Det är dock inte säkert att det går att återanvända schaktmassor för landskapsmodellering i närområdet, såsom man gjorde i Johannelund. För att ha möjlighet att få tillstånd att återanvända schaktmassor i närområdet krävs ett obebyggt område bestående av redan brukad mark som kan förbättras genom utfyllnad. På ren naturmark ges inte tillstånd att återanvända schaktmassor, även om det är sådan mark som ska schaktas. Återanvändningen måste dessutom fungera geotekniskt, det vill säga utan risk för att ras eller skred uppstår. Fyllnadsmassor behövs däremot alltid i anläggningsarbetet, och då kan 3D-modeller vara ett bra hjälpmedel för att bestämma vilka och hur mycket massor som ska sparas och sedan återanvändas på plats. Hänsyn måste förutom till föroreningssituationen även tas till schaktmassornas jordart, eftersom dränerande egenskaper är nödvändigt runt byggnader och vägar. Detta kan enkelt inkluderas i 3D-modellen, som fungerar lika bra för ren geoteknik som för miljögeoteknik. Optimalt kan schaktmassorna lagras på byggarbetsplatsen innan de återanvänds, i annat fall måste de läggas på en mellanlagringsstation i väntan på att kunna återanvändas. Då tillkommer utsläpp från transporter samt extra hanteringskostnader.

De extra kostnader det initialt innebär att införa en 3D-modell i ett markexploateringsprojekt i form av extra projekteringsarbete och personalutveckling bör ses som en investering för framtiden. Med hjälp av 3D-modellen kan byggskedet planeras noga, och dyra avbrott på grund av oförutsedda föroreningar eller geotekniska förhållanden kan undvikas. Enligt vad som visats i tidigare studier är en stark teknikutveckling att vänta inom byggsektorn, och det är dags att miljögeotekniken följer med i utvecklingen. Användandet av miljögeotekniska 3D-modeller rekommenderas främst i större exploateringsprojekt med en heterogen föroreningssituation, där en stor volym överskottsmassor av varierande kvalitet beräknas uppkomma. Viktigt är även att det finns en möjlig lagringsplats för schaktmassorna innan de återanvänds. I dessa projekt kan investeringen i en 3D-modell innebära stora ekonomiska och miljömässiga vinster i och med minskade transporter och deponeringsavgifter.

Framtidsvisioner

Vad gäller framtiden torde BIM vara en naturlig utveckling av miljögeotekniska 3D-modeller. Med den arbetsmetoden kan 3D-modellen användas inte bara i planeringen av exploateringsprojektet, under även i själva anläggningsprocessen och vid förvaltningen av marken. En vision är en dynamisk modell för anläggningsskedet där det registreras vad grävmaskinerna gräver upp och masshanteringen kan följas i realtid. Detta gör det enkelt att kontrollera arbetet och tidigt upptäcka förseningar eller oväntade händelser. Vad gäller förvaltningen av marken kan modellen användas vid ytterligare exploatering eller förändrad markanvändning, då det är en stor fördel att kunna gå tillbaka till 3D-modellen för att se de geotekniska förhållandena på platsen, vilka provtagningar som gjorts och vad dessa visat.

8.2 FÖRSLAG PÅ VIDARE STUDIER

I en framtida studie skulle det vara intressant att undersöka hur mycket jordmassor som behövs för att täcka deponier i Sverige och ifall det skulle vara miljömässigt motiverat att transportera jordmassor från exploateringsområden i Stockholm till deponier i detta syfte. Ytterligare ett förslag är en studie där den lämpligaste programvaran för miljögeotekniska 3D-modeller tas fram. I en sådan studie vore det intressant att se effekten

av att en programvara är sammankopplad med GIS, eller BIM-anpassad. En jämförelse av kostnaden för att implementera 3D-modellen i ett exploateringsprojekt och det som sparas ekonomiskt och miljömässigt skulle även det vara en tänkvärd framtida studie.

8.3 SLUTSATSER

- Återanvändning av schaktnmassor i exploateringsprojekt kan minska utsläpp från transporter och hanteringskostnader för massorna.
- För att skapa och nyttja en miljögeoteknisk 3D-modell krävs noggranna fältundersökningar och provtagningar samt investering i viss kompetensutveckling hos personalen. Det är av största vikt att se till att det som planerats i modellen verkligen används praktiskt på byggarbetsplatsen.
- Fördelar med tekniken under planeringsskedet är att kommunikationen mellan olika parter i projektet underlättas och att beställare får ökad insyn i projektet.
- Fördelar under byggskedet inkluderar en tydlig plan för masshanteringen och mindre risk att stöta på oförutsedda föroreningar.
- Miljögeotekniska 3D-modeller rekommenderas för större exploateringsprojekt med en heterogen föroreningssituation där en stor volym schaktnmassor beräknas uppkomma.

REFERENSER

Acrobat, 2007. Creating PDF's from DWG's without AutoCAD.
<http://acrobat.timhuff.net/?p=23> (2010-01-20).

Adriansson, E., 2009. *Impacts on natural resources and climate affecting emissions from landfill coverage in Stockholm*. Examensarbete. Institutionen för Transporter och Samhällsekonomi, KTH. Geotryckeriet, Uppsala universitet, Uppsala.

Adriansson, S., Båtelsson, O., Hed, S., Högsta, U., Wallner, F., 2006. "Tidig geomodell av mark ger billig grundläggning." *Husbyggaren*. Nr. 5. 2006.

Ahl, H., Nilsson, L., 2004. *Förorenad mark - förekomst och spridning av koppar och zink i Gräsdalenanläggningens närområde, Gusum, Östergötland*. C-uppsats. Institutionen för tematisk utbildning och forskning, LU, Linköping.

Alm, M., Lindeberg, J., Helgesson, H., 2007. *Sammanställning av material och användningsområden. Underlag till Naturvårdsverkets regeringsuppdrag "Återvinning av avfall i anläggningsarbeten"*. Statens Geotekniska Institut.

Back, P.E, Engelke, F., Norrman, J., Purucker, T., Stewart, R., 2009. *Metodik för statistisk utvärdering av miljötekniska undersökningar av jord*. Naturvårdsverket, Rapport 5932.

Berggren Kleja, D., Elert, M., Gustavsson, J.P., Jarvis, N., 2007. *Modeller för spridning av metaller från mark och vatten*. Naturvårdsverket, Rapport 5741.

Bjerking, 2009. Resistivitet. <http://www.bjerking.se/Vara-tjanster/Landskap--mark-2/Geoteknik-alt-1/Geofysik/> (2010-02-05).

Botrygg Bygg AB, 2009. Hyresrätter i Stockholm: Johannelund trädgårdsstad.
http://www.botrygg.se/fast_lovstaalle_01.shtml (2009-12-11).

Bozdoc, M., 2003. The History of CAD. <http://mbinfo.mbdesign.net/CAD-History.htm> (2009-12-17).

CAD Design, 2007. Vad är ett CAD-program? <http://www.caddesign.nu/> (2009-12-11)

Carlsson, J., 2004. "Utveckling och förbättring av 3D-projektering." *Nyheter om stålbyggnad*. s. 51-53. Nr. 3.

Darpö, J., 2001. *Eftertanke och förutseende. En rättsvetenskaplig studie om ansvar och skyldigheter kring förorenade områden*. Akademisk avhandling. Juridiska institutionen, UU, Uppsala.

Eliaeson, K., 2003. *Miljökonsekvenser vid borttagande av förorenad jord – en sammanställning av emissioner från atmosfären från en marksanering i Nacka*. IVL Svenska Miljöinstitutet AB.

Evenhamre, P., Nyhlén, E., Ohlsson, Y., 2007. Johannelund/ Lövstavägen. *Fördjupad riskbedömning med framtagande av mätbara åtgärdesmål inför bostadsbebyggelse*. SWECO VIAK och Stockholms Stad.

Fröberg Flerlage, A., 2010. *Erfarenhetsåterföring; Strategi för hantering av massor innehållande ställvis förhöjda halter i samband med exploatering av stadsmiljö*. Tyréns AB.

GPS World, 2009. Bentley Systems acquires geotech software firm.
<http://www.gpsworld.com/gis/news/bentley-systems-acquires-geotech-software-firm-9037> (2010-01-20).

Gradar geofysik, 2005. Lokalisera och kartlägga med geofysik.
<http://www.georadar.se/index.html> (2009-12-08).

Hansson, B., Olander, S., 2004. *Begrepp vid bygg- och fastighetsutveckling*. Avdelningen för Construction Management, LU, Lund.

Henrikson, H., 2010. Johannelundstoppen.
<http://web.telia.com/~u03900968/vinsta/johannelundstoppen.html> (2010-02-05).

Horner, I., 2009. Nyckeltal för resor. Västra Gotlandsregionen.
<http://www.vgregion.se/Regionkansliet/Tillvaxt--Utveckling/Miljoarbete-i-Vastra-Gotaland/Internt-miljoarbete/Arbetet-med-vara-miljomal/Resor-och-miljo/Nyckeltal-for-resor/> (2009-11-26).

Jongeling, R., 2008. *En jämförelse mellan dagens byggprocesser baserade på 2D-CAD och tillämpning av BIM*. Forskningsrapport. Institutionen för samhällsbyggnad, LTU, Luleå.

Josephson, P. Saukkoriipi, L., 2005. *Slöseri i byggprojekt. Behov av förändrat synsätt*. Fou-Väst, Rapport 0507.

Kemikalieinspektionen, 2009. Polycykliska aromatiska kolväten (PAH).
http://www.kemi.se/templates/PRIOPage_4101.aspx (2010-02-10).

Klint Jensen, J., Petersen M., 2006. *Riskvärdering av förorenad mark – etiska och ekonomiska perspektiv*. Naturvårdsverket, Rapport 5539.

Kullman, C., 2006. ”3D-projektering av Norra länken med tunnlar.” *Väg och vattenbyggaren*. s. 46-50, nr. 4.

Lantmäteriet, 2009a. Terrängkarta.
http://www.lantmateriet.se/templates/LMV_Entrance.aspx?id=206 (2010-01-12)

Lantmäteriet, 2009b. Referenssystem.
http://www.lantmateriet.se/templates/LMV_Entrance.aspx?id=3314 (2010-01-12)

Leica geosystems AB, 2009. Leica scan station C10. Allt i ett laserscanner för alla applikationer. <http://hds.leica->

geosystems.com/downloads123/hds/hds/ScanStation%20C10/brochures/Leica_ScanStation_C10_Brochure_sv.pdf (2009-12-08).

Lindström, L., 2007. "Sveriges finaste kvarter." *Svenska Dagbladet*, 12 november.

Länsstyrelsen i Skåne län, 2009. Miljö- och hälsoeffekter.
http://www.lansstyrelsen.se/skane/amnen/Miljo/Miljoskydd/_Fororenade_omraden/Inventering+och+identifiering/miljo_och_halsoeffekter.htm (2009-10-13).

Länsstyrelsen i Stockholms län, 2000. *Masshantering i Stockholms län*. Rapport 2000:11.

Malahoff, A. 2009. Ocean Explorer.
http://www.lst.se/blekinge/amnen/Miljo/fororenade_omraden/riskbedomningar/Platsspecifika_Riktvarden_.htm (2010-04-05).

Miljöförvaltningen, 2007. *Förorenad mark och byggnad. Bygg och rivningsavfall*. Avfallsblad 13. Stockholms Stad.

Miljökontoret Umeå, 2010. Luftkvalitetsmätning.
<http://www2.lulea.se/miljo/miljo/luftfororeningar.html> (2010-01-11).

Miljökontoret Örebro, 2008. Miljöteknisk markundersökning.
<http://www.orebro.se/download/18.122c442311cd2c59fd180008139/Milj%C3%B6teknisk+markunders%C3%B6kning.pdf> (2009-11-16).

Mårtensson, L., 2003. *Emissioner från Volvos lastbilar (Mk1 dieselbränsle)*. Volvo Lastvagnar AB.

Mårtensson, U., 2001. *StrateGIS. Påbyggnadskurs i GIS för kommuner och länsstyrelser*. Kurslitteratur. LU, Lund.

Nahlin, H., Strid, L., 2003. *Marksanering. Vad händer med förorenad mark i Stockholmsområdet och varför?* Examensarbete. Institutionen för kemiteknik, KTH, Stockholm.

Nationalencyklopedin, 2009. Triangulering. <http://www.ne.se/triangulering> (2009-11-10).

Naturvårdsverket. 1997. *Generella riktvärden för förorenad mark. Beräkningsprinciper och vägledning för tillämpning, efterbehandling och sanering*. Rapport 4638.

Naturvårdsverket, 1999. *Metodik för inventering av förorenade områden*. Rapport 4918. Fälth och Hässler, Värnamo, 2002.

Naturvårdsverket, 2008. Nya generella riktvärden för förorenad mark.
<http://www.naturvardsverket.se/sv/Verksamheter-med-miljopaverkan/Efterbehandling-av-fororenade-omraden/Riskbedomning/Nya-generella-riktvarden-for-fororenad-mark/> (2009-12-14).

Naturvårdsverket, 2009a. Läget i landet – efterbehandling av förorenade område.
<http://www.naturvardsverket.se/sv/Verksamheter-med-miljopaverkan/Efterbehandling-av-fororenade-omraden/Laget-i-landet--efterbehandling/> (2009-10-13).

Naturvårdsverket, 2009b. Miljökvalitetsmål för förorenade områden.
<http://www.naturvardsverket.se/sv/Verksamheter-med-miljopaverkan/Efterbehandling-av-fororenade-omraden/Miljokvalitetsmal-for-fororenade-omraden/> (2009-11-03).

Naturvårdsverket, 2009c. Miljökvalitetsnormer för svaveldioxid i utomhusluft.
<http://www.naturvardsverket.se/sv/Lagar-och-andra-styrmedel/Miljokvalitetsnormer/Miljokvalitetsnormer---nuvarande/Miljokvalitetsnormer-for-utomhusluft/Svaveldioxid/> (2010-01-11).

Naturvårdsverket, 2009d. Miljökvalitetsnormer för kvävedioxid och kväveoxider i utomhusluft. <http://www.naturvardsverket.se/sv/Lagar-och-andra-styrmedel/Miljokvalitetsnormer/Miljokvalitetsnormer---nuvarande/Miljokvalitetsnormer-for-utomhusluft/Kvavedioxid-och-kvaveoxider/> (2010-01-25).

Naturvårdsverket, 2009e. Marknära ozon.
<http://www.naturvardsverket.se/sv/Tillstandet-i-miljon/Luftkvalitet/Marknara-ozon/> (2010-01-11).

Naturvårdsverket, 2009f. Utsläpp i siffror. Kolmonoxid (CO).
<http://utslappisiffror.naturvardsverket.se/Amnen/Ovriga-gaser/Kolmonoxid-CO/> (2010-01-11).

Naturvårdsverket, 2009g. Revidering av EU:s ramdirektiv för avfall.
<http://www.naturvardsverket.se/sv/Produkter-och-avfall/Avfall/Lagar-och-regler-om-avfall/Ramdirektivet-for-avfall/> (2010-02-10).

Naturvårdsverket, 2009h. Efterbehandling av förorenade områden.
<http://www.naturvardsverket.se/sv/Verksamheter-med-miljopaverkan/Efterbehandling-av-fororenade-omraden/> (2009-10-13).

Naturvårdsverket, 2009i. Tabell över generella riktvärden för förorenad mark.
<http://www.naturvardsverket.se/sv/Verksamheter-med-miljopaverkan/Efterbehandling-av-fororenade-omraden/Riskbedomning/Nya-generella-riktvarden-for-fororenad-mark/Tabell-over-generella-riktvarden-for-fororenad-mark/> (2010-03-31).

Olofsson, T., Söderström, P. 2009. *4D – modellering för aktiv design i anläggningsprocessen*. Teknisk rapport. Institutionen för Samhällsbyggnad, LTU, Luleå.

SGU, 2009a. Geologisk information för att planera & bygga.
http://www.sgu.se/sgu/sv/samhalle/planering-byggande/planering-byggande_info.html (2010-01-12)

SGU, 2009b. Hur man tolkar jordartskartan.
<http://www.sgu.se/sgu/sv/geologi/jord/tolka-karta/index.html> (2010-02-12).

Sköld, E., 2010. Platsspecifika riktvärden.
http://www.lst.se/blekinge/amnen/Miljo/fororenade_omraden/riskbedomningar/Platsspecifika_Riktvarden_.htm (2010-04-12).

Statens geotekniska institut (SGI), 2009. Vad är geoteknik?
http://www.swedgeo.se/templates/SGIStandardPage_151.aspx?epslanguage=SV
(2009-12-15).

Statsrevisionen., Stockholms stad, 2008. Exploateringsprocessen.
http://www.stockholm.se/Global/Stads%C3%B6vergripande%20%C3%A4mnen/Om%20Stockholm/Stadsrevisionen/revisionsrapporter/2008/00_2008-11_rapport_exploateringsprocessen-w.pdf (2010-01-18).

Stockholms stad, 2008. Luftföroreningar och buller.
<http://www.stockholm.se/TrafikStadsplanering/Luftfororeningar-och-buller/> (2010-01-11).

Strid, L., 2008. *Johannelund, 3D-Modell*. SWECO Environment AB.

Sundström, A., 2004. "Kostsamt sanera industritomter." *Dagens Nyheter*, 24 oktober.

SRV återvinning AB, 2009. Deponi. http://www.srv-atervinning.se/templates/pages/StandardPage_637.aspx (2010-02-04).

SWECO AB, 2009. *Storstadsspecifika riktvärden för Malmö, Göteborg och Stockholms Stad*. Stockholm.

SWECO AB, 2002. Årsredovisning 2001.
http://investors.swecogroup.com/files/press/sweco/sweco_02-04-01_sv.pdf (2010-01-15).

Sörqvist, R., 2009. *Kvalitetssäkring av projekteringsprocessen med stöd av byggnadsinformationsmodellering (BIM)*. Examensarbete. Institutionen för industriell ekonomi och samhällsvetenskap, LTU, Luleå.

Tensmyr Hildinger, C., 2009. Miljömiljarden. Stockholms Stad.
<http://www.miljomiljarden.se/home/page.asp?sid=64&mid=2&PageId=281> (2009-11-26).

Tekniska nomenklaturcentralen, 2000. Byggekonomiska termer.
http://www.ts.mah.se/utbild/Tbbuy/shared/arc/Allm%E4nt/TNC99_Byggekonomiska_terminer.pdf (2010-01-14).

Tiderman, M., 2008. Mattes Ritservice. <http://www.mattesritservice.com/> (2010-04-01).

Wahlström, A., 2000. Kvalitetssäkring av miljö och säkerhet vid transporter.
<http://www.miljo.skane.se/sv/h/bilagor/Egna%20rapporter%202.pdf> (2010-01-11).

Lagar och förordningar

Miljöbalken (1998:808)

Avfallsförordningen (2001:1063)

Personlig kommunikation

Axelsson, Kennet, februari 2010. Professor i byggkonstruktion. Uppsala universitet.

Berkan, Jörgen, november 2009. Projektör. Värmdö kommun.

Fröberg Flerlage, Anna, oktober 2009 – februari 2010. Miljögeotekniker. Tyréns AB.

Gyllberg Lars, december 2009. Byggkonsult. Röda tråden AB.

Heljesten, Peter, december 2009. Kemist. SITA Sverige AB.

Holmbom Björkman, Anna-Greta, december 2009. Projektledare. Exploateringskontoret Stockholms stad.

Lindell, Tore, december 2009. Vägprojektör/utvecklare. Tyréns AB.

Lundgren, Tommy, december 2009. Projektledare. SITA Sverige AB.

Magnusson, Örjan, november 2009. Miljöinspektör. Miljöförvaltningen i Stockholms stad.

Olovsson, Erik, december 2009. Projektör/utvecklare. Erix projekt och ledarskap.

Rickhamn, Jörgen, oktober 2009 – februari 2010. Järnvägsprojektör. Tyréns AB.

Skönström, Teresia, december 2009. Miljöingenjör. Exploateringskontoret Stockholms stad.

Strauss, Carl Michael, november 2009. Handläggare. Naturvårdsverket.

Swahn, Birgitta, november 2009. Handläggare. Länsstyrelsen i Stockholms stad.

BILAGOR

BILAGA A. PLATSSPECIFIKA RIKTVÄRDEN JOHANNELUND

Tabell A1 Platsspecifika riktvärden för Johannelund. Koncentrationer anges i mg/kg TS

Ämne:	A	1B	2B	D	E	F
Arsenik	15	15	30	55	100	100
Bly	145	300	300	1 250	1 250	1 250
Kadmium	4	12	12	36	36	36
Koppar	100	200	200	1 250	1 250	1 250
Krom	120	250	250	1 250	1 250	1 250
Nickel	80	200	200	1 250	1 250	1 250
Zink	350	700	700	1 250	1 250	1 250
Kvikksilver						
PAH-cancerogena	0.4	5	17	35	35	70
PAH-övriga	20	40	40	100	100	100
Alifater						
> C6-16	100	160	500	2 500**	200	2 500**
Alifater						
> C16-35	100	1 000	1 000	5 000	5 000	5 000

Klasser:

A Fri återanvändning

1B Fri återanvändning med undantag av förskola

2B Fri återanvändning i parkmark norr om området

D Återanvändning under hårdlagda ytor

E Icke återanvändningsbara efter schakt

F Icke återanvändningsbara efter schakt

BILAGA B. NATURVÅRDSVERKET'S GENERELLA RIKTVÄRDEN

Tabell B1 Generella riktvärden för förorenad mark. Koncentrationer i mg/kg TS (Naturvårdsverket, 2009i)

Ämne	KM	MKM	Kommentar
Antimon	12	30	
Arsenik	10	25	
Barium	200	300	
Bly	50	400	
Kadmium	0,5	15	
Kobolt	15	35	
Koppar	80	200	
Krom totalt	80	150	Om andelen krom (VI) är större än 1% av den totala kromhalten bör även krom(VI) riskbedömas.
Krom (VI)	2	10	Anm 2
Kvicksilver	0,25	2,5	
Molybden	40	100	
Nickel	40	120	
Vanadin	100	200	
Zink	250	500	
Cyanid total	30	120	
Cyanid fri	0,4	1,5	Anm 2
Summa fenol och kresoler	1,5	5	Anm 2
Summa klorfenoler (mono - penta)	0,5	3	Anm 2
Summa mono- och diklorbensener	5	15	Anm 1,2
Triklorbensener	1	10	
Summa tetra- och pentaklorbensener	0,5	2	
Hexaklorbensen	0,035	2	
Diklormetan	0,08	0,25	Anm 1,2
Dibromklormetan	0,5	2	Anm 1,2
Bromdiklormetan	0,06	1	Anm 1,2
Triklormetan	0,4	1,2	Anm 1,2
Koltetraklorid (Tetraklormetan)	0,08	0,35	Anm 1,2
1,2-dikloreten	0,02	0,06	Anm 1,2
1,2-dibrometan	0,0015	0,025	Anm 1,2
1,1,1-trikloreten	5	30	Anm 1,2
Trikloreten	0,2	0,6	Anm 1,2
Tetrakloreten	0,4	1,2	Anm 1,2

Dinitrotoluen (2,4)	0,05	0,5	Anm 2
PCB-7	0,008	0,2	PCB-7 antas vara 20% av PCB-tot
Dioxin (TCDD-ekv WHO-TEQ)	0,00002	0,0002	Inkluderar även dioxinliknande PCB
PAH L	3	15	PAH med låg molekylvikt
PAH M	3	20	PAH med medelhög molekylvikt
PAH H	1	10	PAH med hög molekylvikt
Bensen	0,012	0,04	Anm 1,2
Toluen	10	40	Anm 1,2
Etylbensen	10	50	Anm 1,2
Xylen	10	50	Anm 1,2
Alifat >C5-C8	12	80	Anm 1,2
Alifat >C8-C10	20	120	Anm 1
Alifat >C10-C12	100	500	Anm 1
Alifat >C12-C16	100	500	
Alifat >C5-C16	100	500	Summa av alifatfraktioner ovan
Alifat >C16-C35	100	1000	
Aromat >C8-C10	10	50	
Aromat >C10-C16	3	15	
Aromat >C16-C35	10	30	
MTBE	0,2	0,6	Anm 1,2

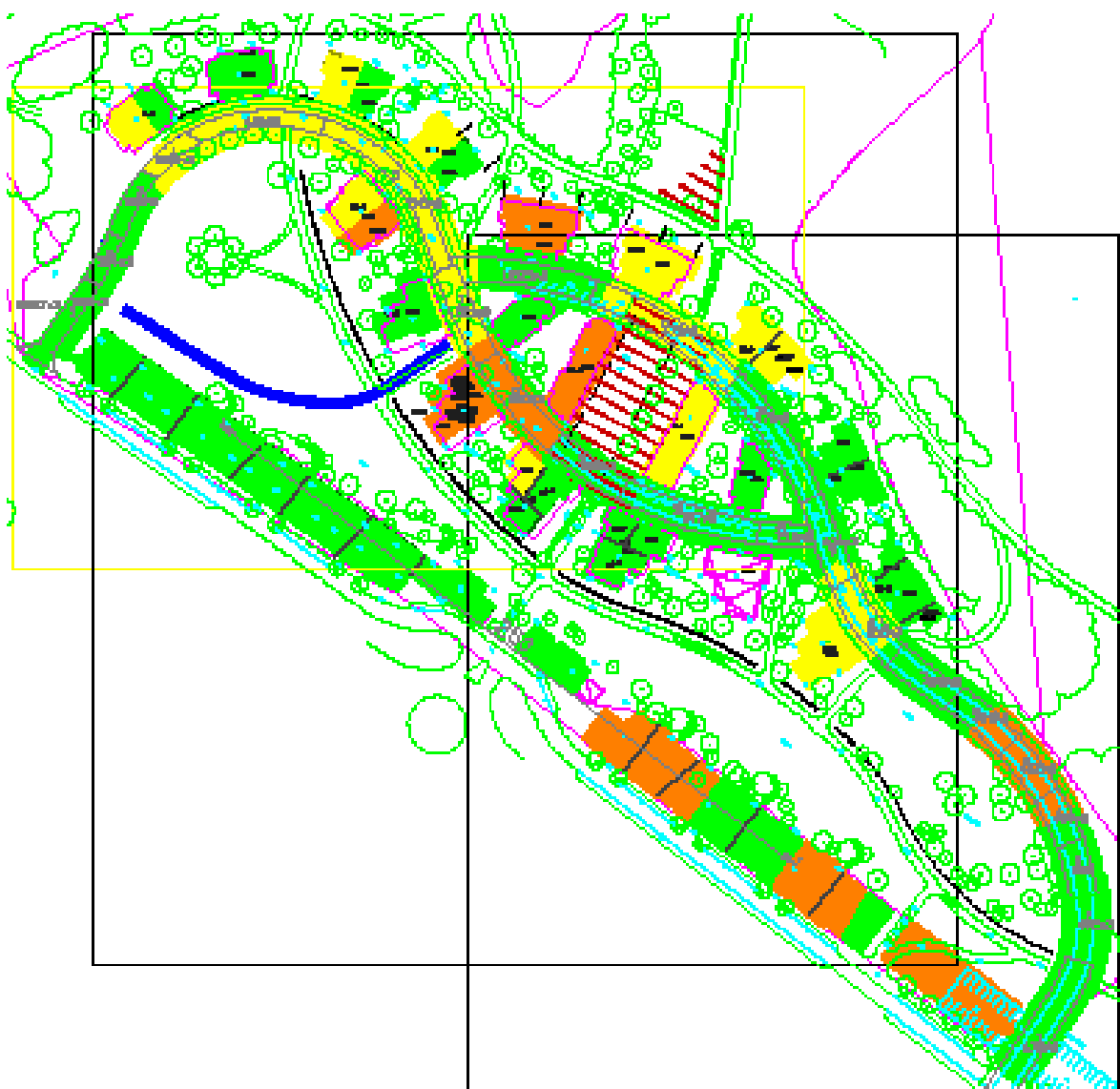
Anm 1 Ämnen som i stor utsträckning kan förekomma i porluft. Kompletterande analyser av markluft och inomhusluft rekommenderas.




Anm 2 Ämnen som i stor utsträckning kan förekomma i grundvatten. Kompletterande analyser av grundvatten rekommenderas.

BILAGA C. MODELL ÖVER FÖRORENINGSSITUATIONEN I JOHANNELUND

I Figur C1 visas ett pdf-utdrag av den 3D-modell över föroreningsituationen som skapades i Johannelund. Rutorna representerar schaktbottnar för de planerade husen och vägarna och färgerna representerar olika klassningar för återanvändning.

Figur C1 Modell över föroreningsituationen i Johannelund (skapad av författaren).



-  Fri återanvändning utom vid förskola
-  Fri återanvändning i parkmark
-  Schaktmassor som inte kan återanvändas