© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

MÄNNISKAN UNDER MARK - FAKTORER ATT TA HÄNSYN TILL VID DESIGN

Magnus Bergman, Itasca Geomekanik AB, Stockholm
John Carmody, Underground Space Center; Minneapolis, USA

Inledning

Nyttjandet av undermarksutrymmen för en mångfald olika aktiviteter som direkt berör människan är ingen ny företeelse. Grottor och andra naturliga undermarksutrymmen, liksom av människan skapade bergutrymmen, har använts som skydd och för förvaring av varor alltsedan förhistorisk tid.

Under det senaste århundradet har tillämpningarna av undermarken dominerats av stora transportsystem typ tunnelbanor och ledningsoch tunnelsystem för vatten, avlopp och energi. På senare tid har undermarksutrymmen i ökande utsträckning utnyttjats för storskalig lagring av olja, gas, energi och avfall (Bergman 1977, 1980).

För närvarande finns det ett starkt och tilltagande intresse för ett utökat undermarksutnyttjande, framför allt i överbefolkade storstadsområden i Asien. I Japan drivs detta intresse på av mycket höga markpriser, brist på ytligt belägna markområden och behovet av att renovera och bygga ut de befintliga infrastruktursystemen.

Samma drivkrafter, om än inte lika starka, påverkar utveckingen inom många större europeiska och nordamerikanska städer. Här ofta kopplat till en strävan att bevara historiskt värdefulla byggnader i markplanet.

Planerings- och utvecklingsaspekter

I de flesta städer har existerande undermarksutrymmen byggts ut i relativt små etapper under lång tidsutsträckning med mycket lite eller ingen översiktlig planeringsinsats alls. Trots att det finns många exempel på attraktiva och effektiva undermarksbyggnader, har man ändå inte på allvar lyckats få grepp om och utnyttjat undermarkens potential, när det gäller att mer systematiskt lösa en rad urbana problem.

Den pågående utforskningen av undermarkens potential i detta avseende, speciellt i Japan, kan erbjuda möjligheter inte bara att skapa effektivare utan även en attraktivare stadsmiljö med bättre levnadsförhållanden. Banbrytande arbeten gjordes på 70-talet i Sverige inom området undermarksplanering (Jansson och Winqvist, 1977). Dessa frågor är viktiga, då undermarken är en

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

icke förnyelsebar resurs, som fordrar eftertanke innan den tas i anspråk. En gång utbyggd är den svår att ändra på.

För att kunna genomföra storskalig utveckling av undermarken enligt ovan under "ordnade" former måste fortsatta F & U-insatser genomföras inom flera olika områden, som kan sägas utgöra de olika komponenterna inom planeringsverksamheten:

1. Bygnadsteknik
2. Teknik relaterad till nya användningsområden och system.
3. Frågor rörande lagar och bestämmelser.
4. Säkerhetsfrågor (brandskydd, hälsorisker m m).
5. Aspekter kring människans vistelse under mark.

Rent allmänt kan man konstatera att teknologin att skapa stora utrymmen under mark finns och kan vidareutvecklas. Inte minst Bergsprängningskommitténs möten behandlar ju varje år dessa frågeställningar. Lösningar till frågor avseende lagar och bestämmelser kan alltid arbetas fram när behov och intresse finns. Dessa frågor varierar dock från land till land och även från kommun till kommun.

Eftersom de volymmässigt mest omfattande byggnadsfunktionerna under mark hitintills har involverat transporttunnlar, olika ledningstunnlar och bergrum för lagring av olika slag av fasta och flytande material, såsom olja, gas, vatten och livsmedel, har men ägnat mycket begränsat intresse åt människans reaktion och gensvar till undermarksvistelse.

I takt med de tilltagande ekonomiska motiven till att utveckla undermarksutrymmen och det ökande intresset till mycket storskaliga undermarksprojekt, kommer man sannolikt att utöka och hitta nya byggnadsfunktioner för undermarkslokalisering.

Detta innebär att en av de mest utmanande och väsentligaste forskningsområdena framför oss behandlar frågor avseende människans vistelse under mark. Människans vanor och beteende i detta avseende är kontroversiella frågor. Det är också av avgörande betydelse att förstå dessa fenomen, eftersom de kommer att inverka på acceptansen och möjligheterna att marknadsföra undermarksanläggningar. I slutändan utgör resultaten från dessa studier underlag vid en bedömning av eventuella begränsningar avseende vilka funktioner, som kan lokalisers under mark.

Kostnader

Låt oss kort studera de ekonomiska förutsättningarna innan vi fördjupar oss i utformningsfrågorna.

Många anläggningar, såsom ledningssystem för vatten, avlopp och energi placeras inte under mark för att detta alternativ blir billigare, utan för att det anses oacceptabelt att placera dem ovan mark. Nu har vi så kommit därhän att markpriserna på flera ställen i världen har stigit till en nivå, där man anser sig ha rent ekonomiska motiv att bygga under mark.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

En avgörande faktor vid jämförelser mellan undermarks- och traditionellt ovanjordsbyggande är byggkostnaderna. En rad olika ekonomiska faktorer vid sidan av byggkostnaden spelar naturligtvis också in vid jämförelser av detta slag. Dr Raymond Sterling har genomfört en analys med tonvikt på byggande i tättbebyggda områden och denna analys ger en indikation om framtida behov och utvecklingstendenser avseende människans relation till undermarken (Sterling 1990). Här skall kortfattat vissa idéer, som illustrerar den ekomiska potentialen under mark, från denna rapport tas upp.

Figur 1 visar en schematisk jämförelse av ovan- och undermarksbyggande, där man varierar markpris och antal våningar hos byggnaden ovan mark. Detta diagram illustrerar hur mycket dyrare undermarksbyggnaden kan få vara för att fortfarande utgöra ett ekonomiskt alternativ till den traditionella ovanmarkslösningen.

Figur 1 förutsätter att undermarksbyggnaden består av två våningar, att den direkta byggnadskostnaden ovan mark är 8.400 kronor/m^2 (USD 1.500/m^2), att ingen särskild kostnad utgår för rätten att bygga under mark och att ovanjordsbyggnaden inte upptar mer markutrymme än den direkta byggnadskroppen. I många fall måste undermarksbyggaren betala för rätten att bygga under mark, vilket sänker break-even punkterna i motsvarande grad. Kurvorna för fem olika markpriser är inlagda. Det högsta värdet USD 500,000/m^2 (2.800.000 SEK/m^2) representerar det maximala markpriset i Tokyo (1990). USD 25,000/m^2 (140.000 SEK/m^2) representerar det högsta markpriset i New Your (1990).

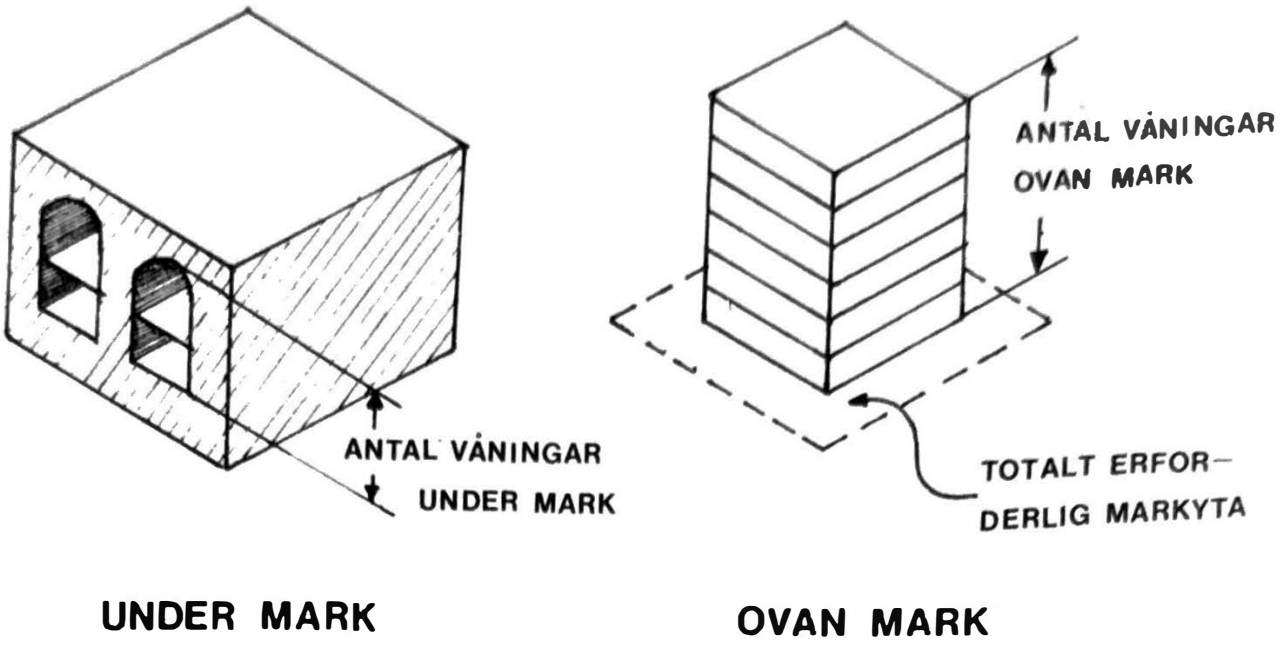
Kurvorna visar att kostnaden för att bygga under mark vid ett relativt lågt pris på marken - USD 1.000/m^2 (5.600 SEK/m^2) måste vara i det närmaste lika lågt som byggkostnaden ovan mark för att konkurrera ekonomiskt. Vid högre markpriser ger relationen i ökande takt utslag till undermarksalternativets favör.

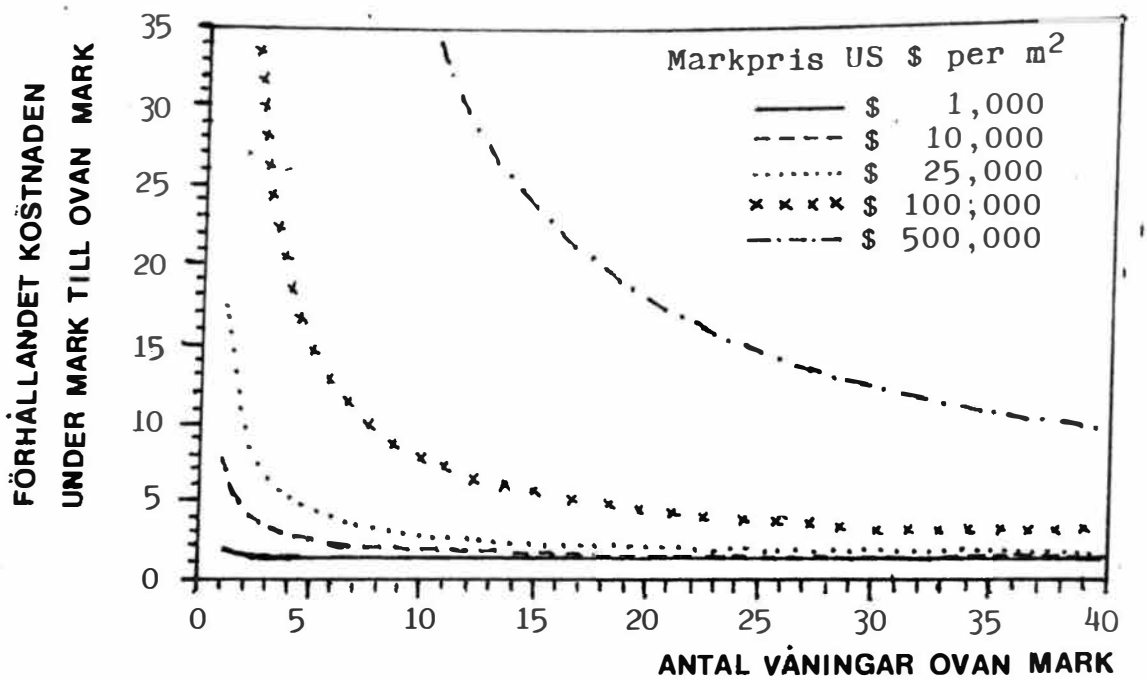
För en tio-vånings ovanmarksbyggnad får följaktligen kostnaden för undermarksbygget vara 34 gånger högre vid ett markpris av USD 500,000/m^2. För markpriserna 1,000, 10,000, 20,000 och 100,000 USD/m^2 får på motsvarande sätt undermarkskostnaden vara 1,1; 1,7; 2,7 och 7,6 gånger högre än kostnaden att bygga ovan mark.

En del av dessa markpriser är naturligtvis extremt höga, men i vissa delar av andra storstäder än de här ovan uppräknade, kan man finna markpriser som åtminstone faller inom de lägre kostnadskurvorna av diagrammet. Även om den här enkla jämförelsen kan diskuteras, när det gäller detaljförutsättningarna, kan man dock konstatera att markprisets inverkan på totalkostnaden är väsentlig. Vid goda undermarksförhållanden i fråga om byggnation måste man således antingen bygga flera våningar ovan mark eller drabbas av höga kostnader för att köpa rättigheterna att bygga under mark för att ekonomiskt konkurrera mot undermarksalternativet.

När ekonomiska intressen växer sig starka, kommer lätt sociala och mänskliga synpunkter i skymundan. På de ställen där utvecklingen går mot ett ökat allmänt undermarksbygande, kommer människan - med eller mot sin vilja - att konfronteras med konsekven-

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare





Figur 1. Jämförelse mellan kostnader för undermarksbyggande och ovanmarksbyggande vid olika markpriser med fri dispositionsrätt till undermarksutrymmet. (Sterling, 1990)

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

serna av detta i form av ökad vistelse och kontakt med undermarksanläggningar. Kan man då förbereda sig för och underlätta denna utveckling?

Design för människor under mark

Frågor som berör miljön under mark och dess inverkan på produktivitet, hälsa och det allmänna välbefinnandet hos de människor, som måste arbeta här, måste naturligtvis besvaras. Det förefaller, som det finns en allmän uppfattning att undermarkutrymmen är underlägsna motsvarande utrymmen belägna ovan mark. Om detta är riktigt, måste man försöka besvara följande fråga: "Hur kan man utforma och påverka undermarksmiljön i dessa anläggningar, så att dessa obehags- och oroskänslor mildras?"

För att försöka sätta oss in i vad utformningen av utrymmen för människor under mark bör inriktas på, är det nödvändigt att identifiera de underliggande psykologiska och fysiologiska störningsmoment, som skapar denna reaktion.

Till att börja med identifieras ofta undermarksutrymmen som mörka, fuktiga utrymmen med stillastående unken luft. Brist på naturligt ljus och dålig luftkvalitet är de väsentligaste fysiologiska farhågorna med undermarken.

Negativa psykologiska uppfattningar inkluderar associationer till döden och begravningsaspekter med sammanhängande klaustrofobikänslor och rädsla för att bli instängd i händelse av ras. Utan visuell kontakt med yttervärlden uppstår en brist på samhörighet och närhet till det som händer i den naturliga världen utomhus. Dessutom kan en del människor känna sig vilsna och desorienterade, då man inte har kontakt med normala referenspunkter som mark, himmel, sol och kringliggande objekt.

Dessa negativa kopplingar kan i vissa fall ersättas eller kompenseras med positiva bilder eller känslor i relation till undermarken som en plats, vilken erbjuder skydd, lugn och säkerhet (Carmody och Sterling, 1983, 1987).

Innan man hade tillgång till mekanisk ventilation och artificiell belysning av hög kvalitet, vilket vi har idag, kom undermarksutrymmen ohjälpligt till korta som alternativ till naturligt ventilerade och upplysta utrymmen ovan mark. Nu för tiden är dock de flesta normala byggnader helt inneslutna och många människor arbetar normalt i fönsterlösa eller i det närmaste fönsterlösa mijöer. Detta innebär naturligtvis inte att detta är önskvärda miljöer, men indikerar att väl utformade undermarksutrymmen inte är så helt annorlunda än många existerande byggnader ovan mark. Oavsett detta trycker de negativa associationerna med undermarksutrymmen i folks medvetande. Det är därför viktigt att identifiera de kritiska designfaktorer, som påverkar och styr dessa känslor för att ange möjliga och rimliga lösningar till utformning av undermarksutrymmen samt för att minska dessa invanda antireaktioner.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Styrande designfaktorer kan delas in i fem grupper:

1. Layout och orientering

Fönsterlösa undermarksutrymmen saknar normala referenspunkter till omvärlden. Till detta kommer svårigheter med att utifrån få en uppfattning av undermarksanläggningens form. Det får till konsekvens att man aldrig får någon känsla för den allmänna layouten och storleken av anläggningen, vilket man normalt får ifråga om byggnder ovan mark.

Komplicerade nätverk av undermarkanläggningar, som t ex stora tunnelbanestationer med sammanbindande korridorer för passagerare, kan upplevas som enformiga och svåra att få ett grepp om. Dessa förhållanden resulterar lätt i känslor av desorientering p g a svårigheter att hitta inom anläggingen och att hitta utgångarna.

Naturligtvis är det viktigt att skapa en klar layout och att tillhandahålla ett överskådligt och lättfattligt vägvisningssystem. Man kan dessutom applicera ett antal designstrategier, som kan skapa en känsla av orientering. Där så är möjligt kan vidgade och nedsänkta allmänna samlingsplatser och "torg" erbjuda en positiv koppling till utomhusmiljön.

I Les Halles undermarkskomplex i Paris har man lokaliserat huvudingångarna till ett antal generöst nedsänkta samlingsplatser med mycket tilltalande landskapsarkitektur. Från insidan kan man uppfatta glimtar av välkända historiska byggnader (Figur 2).

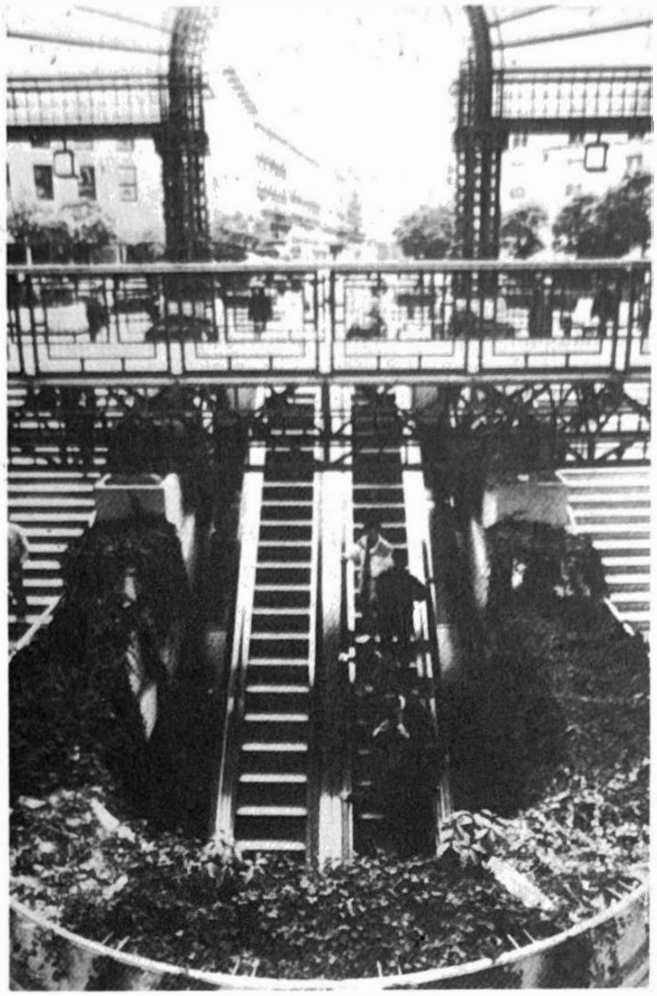
Cirkulationsprincipen inom ett undermarkskomplex är analogt med ett motsvarande system i markplanet med gator, öppna platser och torg. Genom att variera storleken och utformningen av gångvägar, samlingsplatser och torg underlättar man för individen att hitta igenkänningstecken och att skapa sig ett översiktligt grepp om gångsystemet med huvudvägar och mindre gångvägar. Möjligheten att orientera sig underlättas om olika zoner och funktioner inom större undermarkanläggningar ges tydliga och särskiljande karaktärsdrag.

Undermarkssystemet i Montreal t e x sträcker sig under en stor del av staden. Trots att det är ett mycket komplext system, har man lyckats underlätta för människan att orientera sig genom att regelbundet placera stora specifika samlingsplatser vid kontaktpunkterna och tillträdet från byggnaderna i markplanet. Dessa fungerar även som igenkänningstecken och riktmärken.

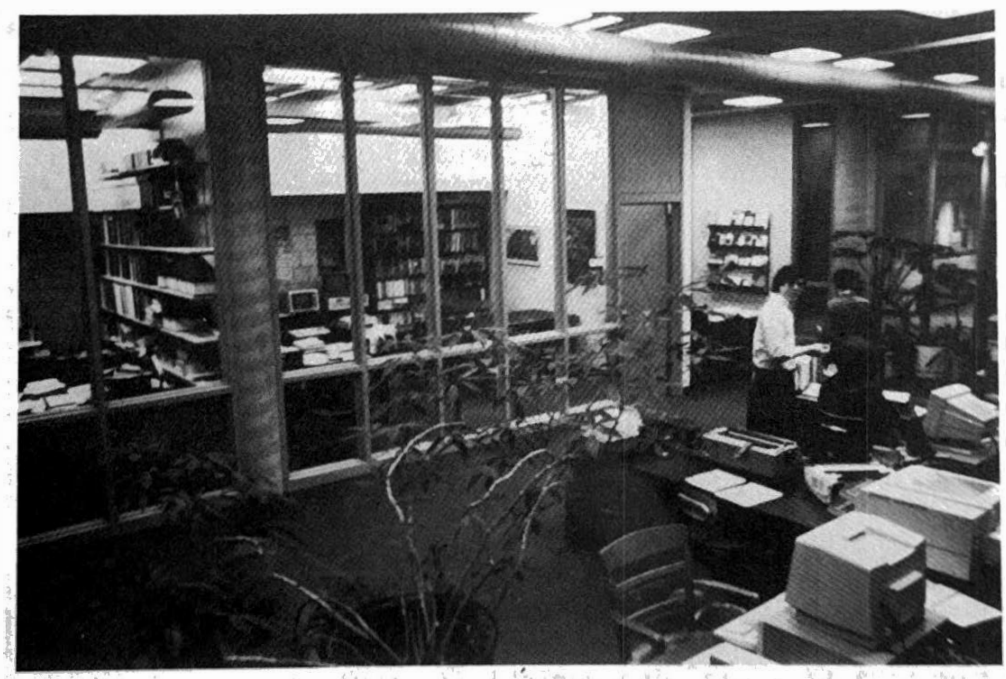
2. Rymdkänsla och utsikt

Avsaknaden av fönster under mark minskar känslan av rymd och förstärker den allmänna känslan av fångenskap. Den direkta kontakten med det stimulerande växelspelet i väderförhållandena ovan mark går dessutom förlorad. Detta kan i viss mån mildras genom att maximera de inre siktfälten och vyerna, vanligen genom att utforma stora centrala öppna platser och rum med markerade objekt och aktiviteter. Ett flervånings atriumutrymme i kontakt med om-

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 2.
Huvudentréerna till Les Halles undermarkskomplex i Paris är lokaliserade till öppna platser med tilltalande landskapsarkitektur. Utsikt mot välkända minnesmärken på marken förstärker känslan av orientering inom undermarksanläggningen.



Figur 3. I fönsterlösa kontorsutrymmen under mark förbättras känslan av rymd genom skiljeväggar av glas, högre takhöjd och långa siktmöjligheter eller vyer, som i detta fall vetter in mot öppna gemensamma centrala utrymmen.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

givande urtymmen med skiljeväggar av glas är en effektiv lösning. Där detta inte är möjligt kan höga tak och glasväggar förbättra förhållandena även i fråga om små utrymmen. Glasväggar som vätter direkt till allmänna platser på samma plan, täcks vanligen för av de som använder dessa utrymmen för att behålla avskildheten. Detta kan lösas genom att kontoren placeras högre upp och tittar ned på de gemensamma utrymmena.

I tämligen små fönsterlösa kontor vid University of Minnesota har känslan av rymd ökats avsevärt genom att utnyttja skiljeväggar av glas, 3 meters takhöjd och inre siktavstånd på minst 8 meter från induviduella kontor till den gemensamma centrala data- och bibliotekslokalen (Figur 3).

Rymdkänslan kan även ökas med ganska små förändringar i rumsgeometri, textilier, belysning och färger. Speglar är särskilt användbara, när det gäller att ge intryck av att öka rumsstorlekar. Andra metoder för att skapa en känsla av rymd, som kan användas, kan bland annat vara nedåtgående väggar med indirekt belysta växter, akvarier och konstverk (Figur 4).

Vid undermarksdelen av Smithsonians museum och kontorskomplex i Washington DC har man utnyttjat ett konstverk i syfte att skapa intrycket att utrymmet fortsätter in i konstverket.

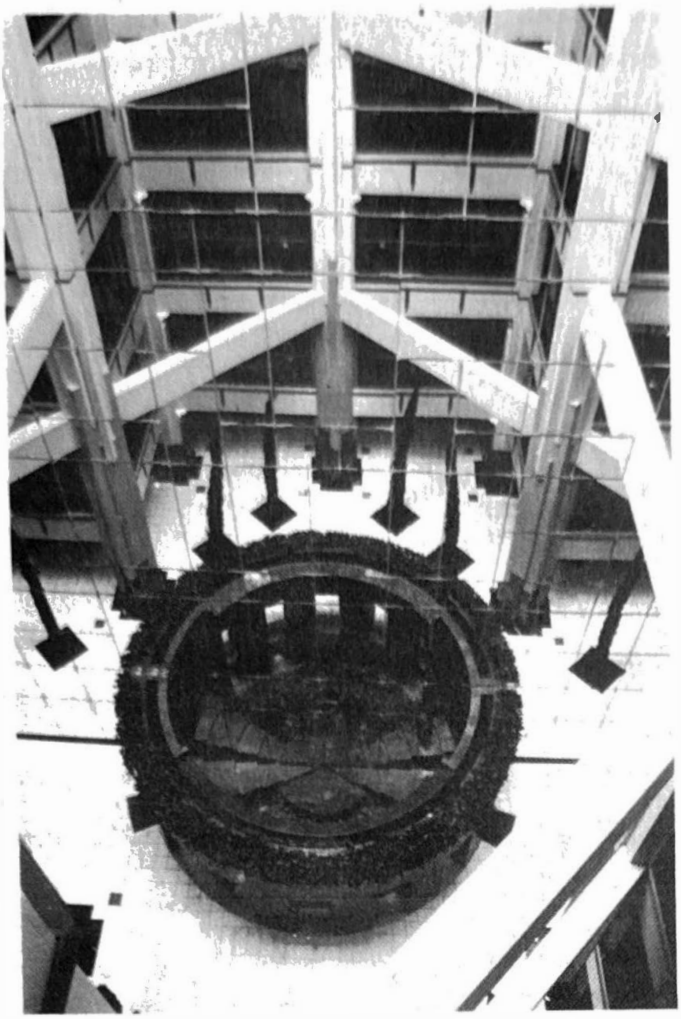
Andra direkta metoder för att ersätta fönster utgörs av optiska system och videosystem. En periskopliknande anordning för ned bilder från markytan till kontorslokaler 30 m under markytan, under det att stora speglar förmedlar bilder av markytan i mer ytligt belägna undermarksanläggningar.

Tillämpningar av videotekniken i samband med undermarksdesign har ännu inte prövats i någon större utsträckning. High-definition storbilds teknologi har dock potential inte bara att förmedla bilder från markytan utan kan kanske även utnyttjas för att skapa stimulerande bakgrunder i ständig förändring.

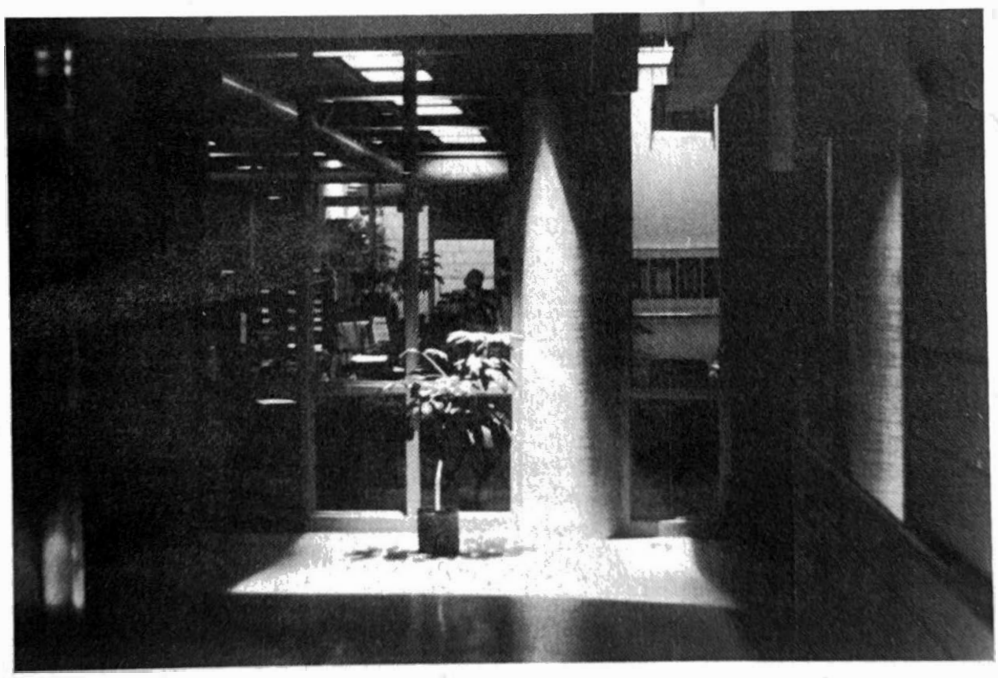
3. Belysning

Brist på naturligt ljus är en av de vanligaste invändningarna mot undermarksutrymmen. Genom jordens rotation kring solen förändras kontinuerligt ljusets riktning och intensitet på marken och detta ger människan stimulans, en känsla av tid och en närhet till naturen. Under det att ljuset spelar en viktig roll för psykologiskt välbefinnande, är det oklart hur mycket, om överhuvudtaget, just det naturliga ljuset är en väsentlig del under en arbetsdag. Oavsett detta är det önskvärt att vid undermarksbyggnation sträva efter att tillhandahålla dagsljus genom takfönster eller öppna atrium schakt när så är möjligt. När så inte är fallet, är ett alternativ att försöka åstadkomma artificiella belysningssystem, som kan simulera färgerna, den variabla intensiteten och avsaknaden av flimmer, som karaktäriserar dagsljus. För att åstadkomma detta använder man sig av speciellt flouriserande ljus i många undermarksanläggningar.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 4.
I denna fönsterlösa byggnad förstärker detta flervåningsutrymme rymdkänslan och bidrar till att öka den inre siktmöjligheten. En sju våningar hög spegelvägg skapar illusionen att rummet är betydligt större än vad det i verkligheten är.



Figur 5. Vid University of Minnesota leds dagsljuset ned till Underground Space Center's kontor 30 meter under markytan med hjälp av en heliostat på taket och en roterande spegel.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

I vissa fönsterlösa byggnader försöker man efterlikna dagsljusets rytm och intensitet genom artificiella belysningsanordningar, som placerats över takfönsterliknande anordningar och som kan varieras i intensitet under dagen.

En annan viktig belysningsidé är att skapa variationer ifråga om ljus och skugga till skillnad från det mer enhetliga normala takljuset. I djupt förlagda undermarksutrymmen, kan man överföra dagsljuset genom system av speglar och linser eller med fiberoptiska kablar. I Tokyo utnyttjas fiberoptiska kablar vid ett flertal undermarksanläggningar. Vid CME-byggnaden vid University of Minnesota skickas dagsljuset ned till kontor belägna 30 meter under markytan med hjälp av en heliostat på taket och en enda roterande spegel (Figur 5). Den viktigaste funktionen med dessa överföringssystem är inte att ersätta det artificiella ljuset utan den estetiska och psykologiska kvalitetsmässiga vinsten att ha någon, om än begränsad, kontakt med markytan.

4. Design av inredningen

Vid sidan av belysningen, kan man applicera andra inredningsideér för att associationerna med mörker, instängdhet och bristande kontakt med markytan skall elimineras. Färger kan användas för att skapa en känsla av stimulans, variation och rymd. Varma, mönstrade material - särskilt naturliga material såsom trä - är att föredraga. Växter och vatten (t ex i form av basänger och fontäner) bidrar också till positiva kopplingar till naturen (Figur 6).

Inget av dessa koncept är nya och de kan även påträffas i samband med utformning av många lyckade ovanmarksmiljöer. När de appliceras under mark, förefaller det dock som om man måste inrikta sig mer på naturliga material vid val av komponenter. Att exponera den nakna bergväggen vid undermarksbyggnader är ofta en givande lösning, eftersom berget har sin naturliga karaktär och skiljer sig markant från normala ovanmarksmiljöer.

Om man å andra sidan exponerar grå betongväggar under mark, väcker detta lätt negativa reaktioner. Vid sidan av den i förväg planerade utformningen, är människans tillfredsställelse med sin miljö ofta relaterad till hennes egen förmåga att påverka och göra sin arbetsplats under mark personlig.

5. Andra miljöfaktorer

Det är naturligtvis viktigt att utforma undermarksanläggningar med tillfredsställande ventilation och med effektiv luftfuktighets- och temperaturkontroll. Möjligheten för enskilda individer eller mindre grupper att kontrollera dessa faktorer ökar deras tillfredsställelse med miljön. Även om man prioriterar faktorerna ljus, sikt och andra visuella aspekter, när det gäller utformning av undermarksbyggnader, kan man inte komma ifrån att tillfredsställelsen med den inre miljön även inkluderar sinnen som hörsel och lukt.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

I Japan har man på konstgjord väg simulerat naturliga välluktande dofter i syfte att stimulera de anställdas välbefinnande och produktivitet. En annan stimulerande effekt, som används såväl under som ovan mark, är att låta ljuv musik ljuda på vissa platser och även låta ljudet av fallande vatten tränga fram som bakgrundsljud.

Sammanfattning

När man sammanfattar dessa designfrågor, är det tre aspekter som är väsentliga att hålla i minnet och beakta.

För det första varierar individernas reaktion vis-a-vis undermarksmiljön inom mycket vida gränser.

För det andra får man nödvändigtvis inte en effektiv och bra undermarksdesign för att man följer en speciell checklista. Ett lyckat resultatet beror då mer på att integrera många kreativa detaljlösningar till en sammanhängande helhetslösning.

Slutligen är det viktigt att notera att betydelsen av de aspekter som diskuterats ovan, kommer att variera avsevärt vid utformning av undermarksanläggningar, beroende på anläggningens specifika funktion. Människors förväntningar av en speciell anläggning, tiden de förväntas spendera där och vilken typ av aktivitet de avses att engagera sig i, påverkar självfallet deras inställning, när det gäller att acceptera en undermarkslokalisering av verksamheten.

För att människan skall vara produktiv och frisk och ha en rättmätig känsla av välbefinnande under mark, måste ytterligare forskning bedrivas i syfte att definiera de här diskuterade frågeställningarna mer i detalj.

De problemområden, som behandlats ovan är dock inte enbart begränsade till undermarksmiljöer. Resultat från denna forskning kommer därför även att ha tillämpningar för miljön i traditionella ovanmarksbyggnader och andra slutna miljöer.

Det finns, som framgår ovan, en begynnande insikt och förståelse när det gäller hanteringen av dessa problem och en tilltro till att de kan övervinnas framförallt genom effektiv och ändamålsenlig design.

Referenser

Bergman, Magnus, Editor, "Subsurface Space," Proceedings of the International Symposium, Rock Store 77, Pergamon Pres, September 1977

Bergman, Magnus, Editor, "Subsurface Use," Proceedings of the International Symposium, Rock Store 80, Pergamon Press, June 1980.

Carmody, J.C. and R.L Sterling, Underground Building Design, Van Nostrand Reinhold, 1983.

© 1991 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Carmody, J.C. and R.L. Sterling, "Design Strategies to Alleviate Negative Psychological and Physiological Effects In Underground Space," Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 2, No. 1, Jan.-Mar. 1987.

Janson, Birger and Winqvist, Torbjörn, "Planning of Subsurface Use, BFR, D7:1977, Stockholm 1977.

Sterling, R.L., "Progress of Underground Development in Europe and North America," Proceedings of Geotech '90, Tokyo, April 1990.

Figur 6.
Naturliga element som växter, vatten i bassänger eller fontäner liksom varma mönstrade material och möbler bidrar avsevärt, när det gäller att skapa mer mänskliga utrymmen under mark. Även om detta underjordiska kontorskomplex drar nytta av riktigt dagsljus, kan utrymmen som detta åstadkommas med konstgjort ljus.