

## **Obsah**

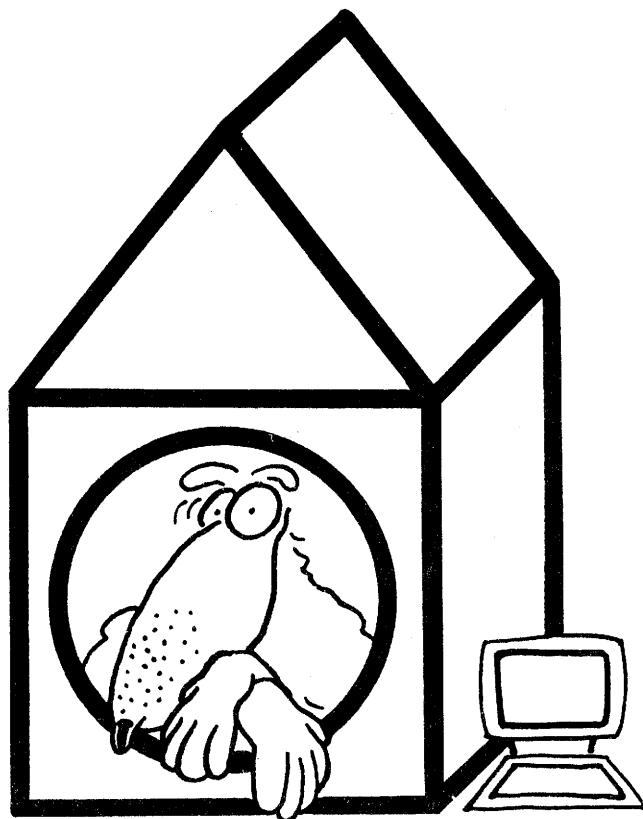
<b>7. TŘÍROZMĚRNÁ ZOBRAZENÍ .....</b>	<b>235</b>
7.1. Návrhy na grafickém papíru .....	236
7.2. Třírozměrné souřadnice .....	238
7.3. Vymazávání skrytých úseček a ploch .....	240
7.3.1 Skryté plochy .....	240
7.3.2 Skryté úsečky .....	250
7.4. Perspektivní pohledy .....	261
7.5. Stínování a zvýrazňování .....	270
7.6. Grafy .....	272
<b>8. TŘÍROZMĚRNÉ TRANSFORMACE .....</b>	<b>285</b>
8.1. Translace (posun) .....	286
8.2. Změny měřítka .....	291
8.3. Rotace .....	299
8.4. Kombinované transformace .....	308

## SLOŽITÁ GRAFIKA

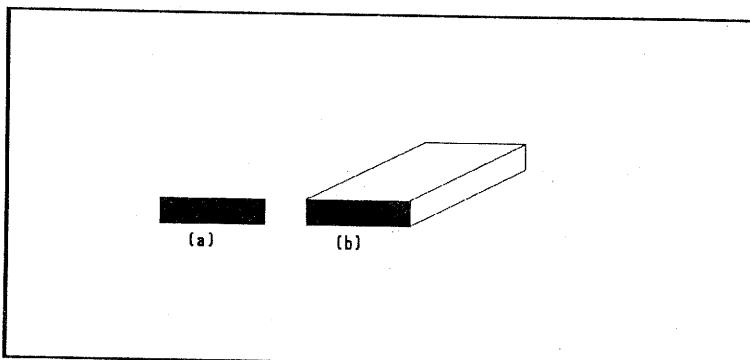
(Třírozměrná)

Reálné objekty jsou chápány jako třírozměrné. Mají hloubku, stejně tak jako šířku a výšku. Při znázorňování objektů na plochém (dvojrozměrném) stínítku obrazovky můžeme hloubku buď zanedbávat, nebo navrhovat objekty na stínítku tak, aby byla znázorněna i hloubka. Znázorněním hloubky můžeme vytvořit značně realističtější obrazy nebo zvýšit informační obsah grafu. Dále budeme uvažovat některé z metod doplnění třetího rozměru do našich zobrazení.

## 7. TŘÍROZMĚRNÁ ZOBRAZENÍ



Třírozměrný předmět, jako je např. kvádr, může být zobrazen na stínítku obrazovky jako pravoúhelník (viz Obr. 9-1(a)). Z takového plošného znázornění můžeme získat informace o šířce a výšce a dále usuzujeme, že tento pravoúhelník má také hloubku, ale že se díváme pouze na jednu jeho stěnu. Realističtější projekce kvádru na stínítku obrazovky je ukázána na Obr. 9-1(b). Na tomto obrázku jsou viditelné i ostatní stěny kvádru a umožňuje lepší pochopení tvaru a skutečných rozměrů daného objektu. Podobně, zobrazování grafů a diagramů ve třech rozměrech umožňuje znázornit další vzájemné vztahy a informace.



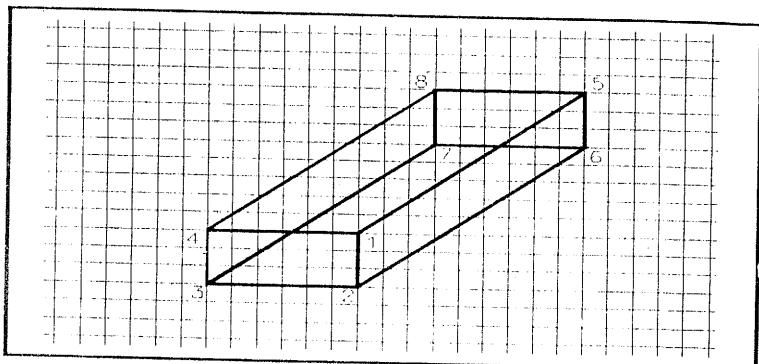
Obr. 9-1 Třírozměrný kvádr znázorněný jako (a) roviný pravoúhelník a (b) s hloubkou.

## 7.1. Návrhy na grafickém papíru

Výstup na obrazovce uvedený na Obr. 9-1(b) byl získán na základě návrhu na grafickém papíře na Obr. 9-2 vynášením souřadnic X a Y bodů podle návrhu. Volili jsme pohled na kvádr na kterém jsou viditelné tři stěny. Z původního návrhu na Obr. 9-2 není zřejmé, které tři stěny mají být pro nás

viditelné. Kvádr můžeme vidět shora a vpravo nebo zdola a vlevo. Pro odstranění této dvojsmyslnosti jsme jednoduše vyneschali úsečky, které měly být na zadní stěně kvádru, pro pohled, který jsme chtěli vidět. Nakreslili jsme kvádr bez úseček spojujících body 3 a 7, 6 a 7 a body 7 a 8. Tato manuální metoda může být užita pro zobrazení třírozměrných scén: kreslíme na grafickém papíru všechny stěny objektu nebo skupiny objektů, vymažeme úsečky, které jsou skryty pro pohled, který chceme zobrazit, a vyneseme zbylé úsečky na stínítko obrazovky.

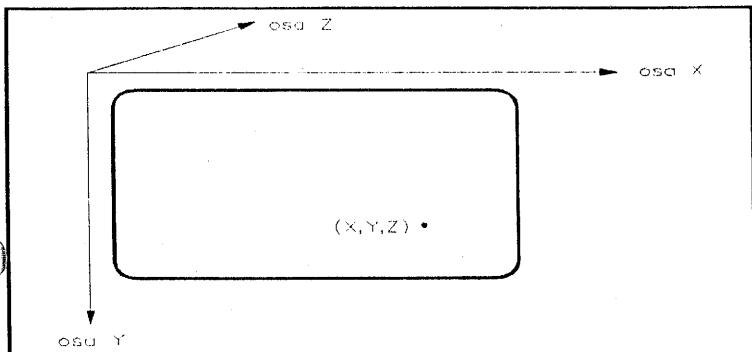
Pro některé situace bychom rádi použili obecnější metodu vytváření třírozměrných pohledů, která by umožnila grafickému zobrazovacímu programu rozlišit "předek" a "zadek" objektů. Rotující těleso, které plynule ukazuje různé strany v pohledu stále vyměňuje přední stranu za zadní stranu. V zobrazovacích programech mohou být užity různé techniky pro odlišení přední od zadní strany třírozměrných objektů umožňující znázornění informace o hloubce. Jednou z těchto metod je vymazání všech skrytých částí objektů tak, jak jsme udělali při návrzích na grafickém papíru. Také můžeme projektovat objekty na obrazovce tak, že hloubkovou informaci poskytne perspektivní pohled. Perspektivní pohled ukazuje části zobrazení blíže k pozorovateli (v popředí) jako větší než objekty a plochy vzdálenější (v pozadí). Další technikou je zvýraznění bližších úseček, takže přední části objektů jsou jasnější než zadní úsečky. Mohou být užita také komplikovanější stínovací schemata, která vytvářejí plynulou změnu barvy plochy od světlé do tmavé. Každá z těchto metod vyžaduje aby byla v zobrazovacím programu specifikována hloubka bodů obrázku.



Obr. 9-2 Návrh třírozměrného kvádru na grafickém papíru.

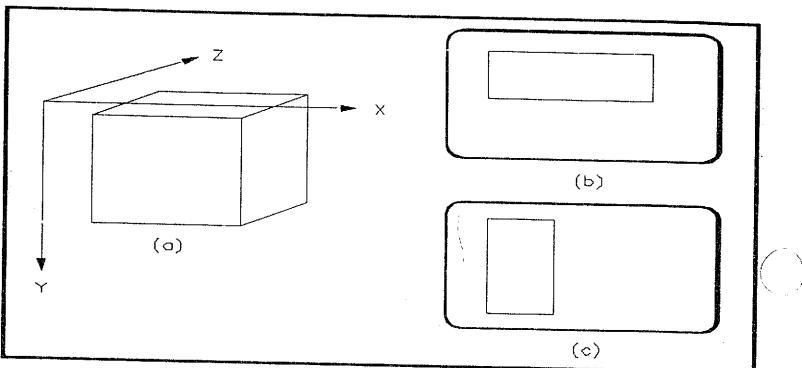
## 7.2. Třírozměrné souřadnice

Obrázek 9-3 ilustruje definici souřadnice určující hloubku, neboli souřadnice Z, spolu se souřadnicemi X a Y. Za počátek těchto tří souřadných os je zvolen levý horní roh stínítka obrazovky. Stejně jako dříve jsou kladné hodnoty souřadnice X měřeny zleva doprava napříč stínítkem obrazovky a kladné hodnoty souřadnice Y jsou měřeny shora dolů. Hodnoty souřadnice Z jsou měřeny od nuly na povrchu stínítka obrazovky s kladnými hodnotami v pozadí stínítka obrazovky a zápornými hodnotami v popředí stínítka obrazovky. Každému bodu obrázku jsou pak přiřazeny tři hodnoty souřadnic (X,Y,Z). Poloha na stínítku obrazovky je určena hodnotami X a Y, hodnota souřadnice Z označuje hloubku bodu vzhledem k povrchu stínítka obrazovky. Vzdálenější body mají větší hodnoty Z, bližší body mají menší hodnoty Z. Souřadnice Z používáme pro vytváření různých pohledů na objekty, pro zjištění skrytých úseček nebo ploch objektů a pro vytváření perspektivních pohledů.



Obr. 9-3 Každý bod obrázku může být vyjádřen pomocí tří hodnot souřadnic (X,Y,Z). Kladné hodnoty Z znamenají vzdálenosti do pozadí stínítka obrazovky.

Různé pohledy na objekty mohou být zobrazeny náhradou souřadnice Z každého bodu buď hodnotou X nebo Y. Takže vynášení (X,Y) pro všechny body dává pohled shora nebo zdola a vynášení (Z,Y) dává stranové pohledy, jak je uvedeno na Obr. 9-4. V prvním případě předpokládáme, že hodnoty Y jsou kladné v pozadí stínítka obrazovky. Jako další je uveden pohled zdola. V druhém případě získáme pohled z levé strany, je-li je kladná hodnota X chápána v pozadí stínítka obrazovky a pohled z pravé strany, je-li je kladná hodnota X chápána v popředí stínítka obrazovky. Takové pohledy se nazývají kolmé průměty. Pro získání těchto pohledů shora, zdola, nebo stranových pohledů na objekt, vkládáme do počítače souřadnice (X,Y,Z) každého vrcholu a vypočítáme příslušnou dvojici souřadnic s vynecháním "zadních" ploch.



Obr. 9-4 Kolmé průměty. Třírozměrný objekt (a) může být pozorován shora nebo zdola vynesením hodnot (X,Z) na stínítku obrazovky (b). Stranové pohledy (c) jsou vytvářeny vynášením hodnot (Z,Y).

### 7.3. Vymazávání skrytých úseček a ploch

Existují dva obecné přístupy k mazání skrytých částí objektů. Jedním z přístupů je chápát objekt jako složený z různých ploch. Pak můžeme určit a vynechat ty plochy, které jsou v pozadí, neboli skryté za ostatními plochami. Druhou metodou je chápát zobrazení jako složené z úseček, určit a vymazat jednotlivé skryté úsečky místo ploch.

#### **7.3.1 Skryté plochy**

Technikou pro vynechávání skrytých ploch v obrázku je kreslení každé plochy na stínítku obrazovky ze zadu dopředu.

Plochy s větší hodnotou Z jsou kresleny nejdříve, takže mohou být překrývány později kreslenými plochami s menší hodnotou souřadnice Z. Každá plocha může být kreslena jinou barvou, nebo mohou být všechny kresleny barvou pozadí, která vymaže skryté čáry.

Program 9-1 ilustruje tuto metodu mazání skrytých čar. Do programu může být zaveden libovolný počet pravoúhlých ploch. Předpokládá se, že každá plocha je rovnoběžná s rovinou stínítka obrazovky, takže pro každou je uvedena pouze jedna hodnota Z. Po seřazení podle velikosti Z od největší k nejmenší jsou vnitřky těchto ploch vyplněny barvou pozadí. Překrývání bude potom vymazávat zakryté části vzdálenějších ploch (Obr. 9-5). Použitím různých barev pro různé plochy dochází k překrývání skrytých čar místo vymazávání.

```

10  'PROGRAM 9-1. VYNECHAVANI ZAKRYTYCH PLOCH.
20      'UCHOVAVA SOURADNICE X, Y, Z HORNHO LEVEHO ROHU
30      'A DALE SIRKU A VYSKU VSECH PRAVOUHLYCH PLOCH.
40      'PRAVOUHLE PLOCHY BUDE TRIDIT PODLE KLESAJICICH
50      'HODNOT Z A PAK JE V TOMTO PORADI NAKRESLI.
60      'PLOCHY JSOU VYPLNENY BARVOU POZADI, TAKZE KAZDA
70      'DALSI PLOCHA VYMAZE TO, CO JE POD NI.
80      ****
90  DIM X(10), Y(10), Z(10), W(10), H(10)
100 XM = 255
110 YM = 191      'XM A YM JSOU MAX. HODNOTY PRO TENTO SYSTEM
120      ***** NACTENI DAT PRO PLOCHY *****
130 READ N          'N JE POCET PLOCH
140 FOR K = 1 TO N
150     READ X(K), Y(K), Z(K), W(K), H(K)  'X,Y=LEVY HORN
152                           'ROH,
155                           'W,H=SIRKA,VYSKA
160     IF X(K)<0 OR Y(K)<0 OR W(K)<0 OR H(K)<0 THEN 650
170     IF X(K)+W(K)>XM OR Y(K)+H(K)>YM THEN 650
180 NEXT K
190     **** TRIDENI PLOCH PODLE SOURAD. Z *****
200 FOR P = 1 TO N - 1
210     B = P
220     FOR R = P + 1 TO N    'KONTROLA ZBYVAJICICH HODNOT Z
230         IF Z(B) > Z(R) THEN 250 'JSOU-LI MENSII POKRACUJ
240         B = R                'JINAK NASTAV B NA LIBOVOLNOU
250     NEXT R                 'HODNOTU, KTERA JE VETSI
260     T = X(P)

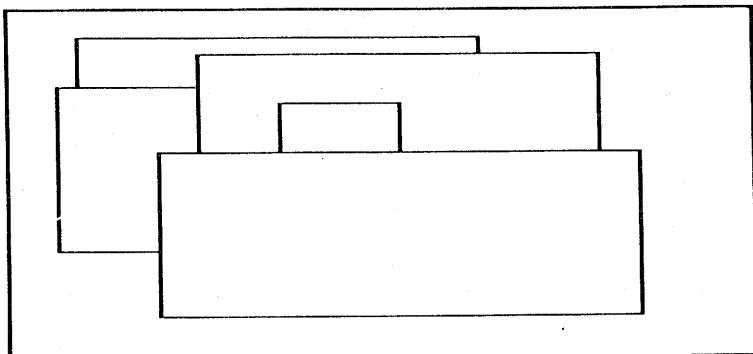
```

```

270      X(P) = X(B)
280      X(B) = T
290      T = Y(P)
300      Y(P) = Y(B)
310      Y(B) = T
320      T = Z(P)
330      Z(P) = Z(B)
340      Z(B) = T
350      T = W(P)
360      W(P) = W(B)
370      W(B) = T
380      T = H(P)
390      H(P) = H(B)
400      H(B) = T
410 NEXT P
420      ***** KRESLENI PLOCH V PORADI *****
430 CLS
440 SCREEN 1
450 FOR K = 1 TO N
460      LINE(X(K),Y(K))-(X(K)+W(K),Y(K))
470      LINE(X(K)+W(K),Y(K))-(X(K)+W(K),Y(K)+H(K))
480      LINE(X(K)+W(K),Y(K)+H(K))-(X(K),Y(K)+H(K))
490      LINE(X(K),Y(K)+H(K))-(X(K),Y(K))
500      'VYPLNENI OHRANICENE OBLASTI BARVOU POZADI
510      REM
520      FOR YI=Y(K)+1 TO Y(K)+H(K)-1
530          LINE(X(K)+1,YI)-(X(K)+W(K)-1,YI),0
540      NEXT YI
550      REM
560 NEXT K
570      *****
580 DATA 5
590 DATA 10,10,30,100,100
600 DATA 40,20,2,100,100
610 DATA 60,50,0,30,100
620 DATA 5,40,20,50,100
630 DATA 30,80,-5,120,100
640      *****
650 END

```

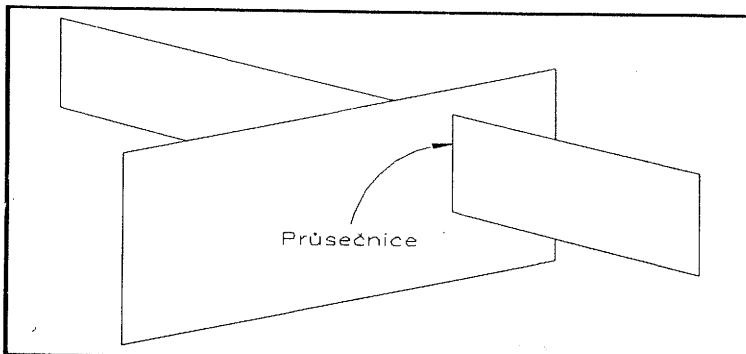
Prog. 9-1 Mazání skrytých čar kreslením ploch na stínítku obrazovky odzadu dopředu (pravoúhelníky).



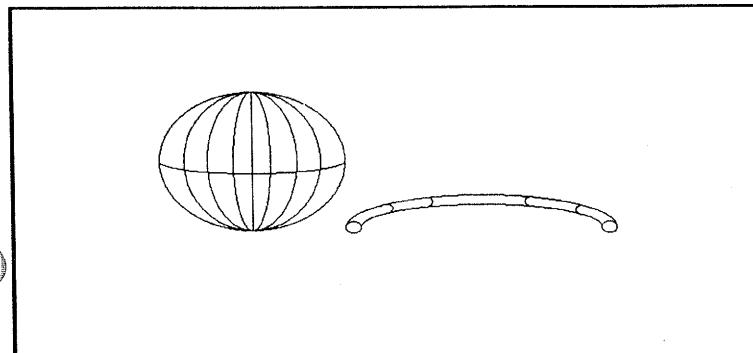
Obr. 9-5 Překrývání pravoúhlých ploch zobrazených programem Prog. 9-1.

Jako vstupní by mohly být užity plochy jiných tvarů než pravoúhlé. Například kružnice, trojúhelníky nebo obecné mnohoúhelníky. Délka vnitřní "vymazávané" čáry je určena hraničními rovnicemi příslušné plochy. Také bychom mohli specifikovat souřadnici Z každého bodu místo celé plochy. To by umožňovalo, aby některé části této plochy byly od nás dále než jiné části této plochy. Třídění by se pak provádělo podle nejmenší hodnoty souřadnice Z pro přední stranu každé plochy. Mohli bychom požadovat rozmístění stěn takové, aby se vzájemně neprotínaly. V opačném případě by mohly dvě stěny alternativně zakrývat jedna druhou, jak je uvedeno na Obr. 9-6. Toto bychom zajistili určením průsečnice (úsečka v níž se obě plochy protínají) a rozdelením jedné nebo obou ploch do dvou částí, nebo bychom použili jiné geometrické metody k určení která část každé stěny je viditelná. Konečně, překrývat se mohou různé zakřivené plochy, nejen roviny, pokud budeme chápát tyto zakřivené plochy jako roviny. Můžem vymazat vnitřky zakřivených ploch a pak nakreslit čáry určující zakřivení (Obr. 9-7).

Jako alternativu mazání celých vnitřků stěn všech ploch obrázku můžeme použít metody pro identifikaci a vynechání pouze těch ploch, které jsou skutečně skryté. Pro symetrické objekty můžeme obvykle použít metod, které určují viditelnost mezi dvěma protilehlými stěnami. Kvádr na Obr. 9-2 má tři páry protilehlých stěn. Vidět můžeme pouze jednu stěnu z každého z těchto páru. Pokud vidíme stěnu s vrcholy 1, 2, 3 a 4, nemůžeme vidět stěnu 5, 6, 7, 8. Program pro vynechání skrytých čar pro tento kvádr musí zobrazovat pouze stěnu s menší hodnotou Z z každého páru. To je realizováno v Prog. 9-2. Tento program zobrazí všechny úsečky testovacího kvádru, pak vymaže obrazovku a nakreslí pouze viditelné strany. Pokud by tento kvádr rotoval, musel by Prog. 9-2 přepočítávat viditelné stěny po každé rotaci. Podobných metod může být použito pro jiné symetrické objekty.



Obr. 9-6 Roviny s proměnnou hloubkou se mohou překrývat a protínat, takže část každé roviny je zakryta druhou rovinou.



Obr. 9-7 Reprezentace třírozměrné zakřivené plochy s čarami označujícími zakřivení.

```

10  'PROGRAM 9-2. MAZAZANI SKRYTYCH USECEK PODLE SIMETRIE.
20      'NACITA A UKLADA BODY TRIROZMERNEHO KVADRU.
30      'SROVNAVA HODNOTY Z V KAZDEM PARU SIMETRICKYCH
40      'STEN A KRESLI POUZE BLIZSI Z NICH.
50  CLS
60  DIM X(8), Y(8), Z(8)
70  XM = 319
80  YM = 199  'XM A YM JSOU MAX. HODNOTY PRO TENTO SYSTEM
90      ***** NACTENI VRCHOLU KRYCHLE *****
100 FOR K = 1 TO 8
110     READ X(K), Y(K), Z(K)
115 X(K)=5*X(K) : Y(K)=5*Y(K)
120     IF X(K)<0 OR X(K)>XM OR Y(K)<0 OR Y(K)>YM THEN 650
130 NEXT K
140     ***** KRESLENI VSECH STEN *****
150 SCREEN 1
160 FOR K = 1 TO 3
170     LINE(X(K),Y(K))-(X(K+1),Y(K+1))
180     LINE(X(K),Y(K))-(X(K+4),Y(K+4))
190 NEXT K
200 LINE(X(4),Y(4))-(X(1),Y(1))
210 LINE(X(4),Y(4))-(X(8),Y(8))
220 FOR K = 5 TO 7

```

```

230 LINE(X(K),Y(K))-(X(K+1),Y(K+1))
240 NEXT K
250 LINE(X(8),Y(8))-(X(5),Y(5))
260 FOR K = 1 TO 1000: NEXT K
270 ***** KRESLENI POUZE VIDITEĽNÝCH STEN ***
280 CLS
290 IF Z(1) = Z(5) THEN 400 'ZADNA Z ODOU STRAN NENI VIDET
300 IF Z(1) > Z(5) THEN 360
310 FOR K = 1 TO 3 'KRESLENI STENY OBSAHUJICI BOD 1
320 LINE(X(K),Y(K))-(X(K+1),Y(K+1))
330 NEXT K
340 LINE(X(4),Y(4))-(X(1),Y(1))
350 GOTO 410
360 FOR K = 5 TO 7 'KRESLENI STENY OBSAHUJICI BOD 5
370 LINE(X(K),Y(K))-(X(K+1),Y(K+1))
380 NEXT K
390 LINE(X(8),Y(8))-(X(5),Y(5))
400 IF Z(1) = Z(4) THEN 510 'ZADNA Z ODOU STRAN NENI VIDET
410 IF Z(1) > Z(4) THEN 470
420 LINE(X(1),Y(1))-(X(2),Y(2)) 'KRESLENI STENY OBSAHU-
430 LINE(X(2),Y(2))-(X(6),Y(6)) 'JICI BOD 1
440 LINE(X(6),Y(6))-(X(5),Y(5))
450 LINE(X(5),Y(5))-(X(1),Y(1))
460 GOTO 520
470 LINE(X(4),Y(4))-(X(3),Y(3)) 'KRESLENI STENY OBSAHU-
480 LINE(X(3),Y(3))-(X(7),Y(7)) 'JICI BOD 4
490 LINE(X(7),Y(7))-(X(8),Y(8))
500 LINE(X(8),Y(8))-(X(4),Y(4))
510 IF Z(1) = Z(2) THEN 650 'ZADNA Z ODOU STRAN NENI VIDET
520 IF Z(1) > Z(2) THEN 580
530 LINE(X(1),Y(1))-(X(4),Y(4)) 'KRESLENI STENY OBSAHU-
540 LINE(X(4),Y(4))-(X(8),Y(8)) 'JICI BOD 1
550 LINE(X(8),Y(8))-(X(5),Y(5))
560 LINE(X(5),Y(5))-(X(1),Y(1))
570 GOTO 650
580 LINE(X(2),Y(2))-(X(3),Y(3)) 'KRESLENI STENY OBSAHU-
590 LINE(X(3),Y(3))-(X(7),Y(7)) 'JICI BOD 2
600 LINE(X(7),Y(7))-(X(6),Y(6))
610 LINE(X(6),Y(6))-(X(2),Y(2))
620 ****
630 DATA 19,20,0,19,29,10,11,28,60,11,22,50

```

```
640 DATA 29,08,100,29,17,110,21,16,160,21,10,150  
650 END
```

Prog. 9-2 Vynechávání skrytých čar zobrazováním pouze jedné viditelné z každé dvojice protilehlých stěn objektu.

Metoda vyneschávání skrytých ploch, která není závislá na symetrii objektů je uvedena v Prog. 9-3. Pro každou stěnu vstupního objektu je vytvořena pravoúhlá hraniční oblast. Každý vrchol každé stěny je testován proti všem ostatním stěnám, aby se zjistilo, zda tento bod je uvnitř pravoúhlé hranice stěny. Pokud je tento bod uvnitř hranice a má větší hloubku, nastaví se indikátor viditelnosti pro stěnu obsahující tento bod na hodnotu "OFF". Po otestování všech ostatních stěn je objekt překreslen pouze s viditelnými stěnami. Obrázek 9-8 ukazuje tyto dva pohledy na objekt nakreslený tímto programem.

```
10  'PROGRAM 9-3. MAZANI SKRYTYCH USECEK PODLE PRAVOUHLYCH  
20      'HRANIC. VSECHNY STENY JSOU ZPRVU NASTAVENY NA  
30      '"ON" A JSOU NAKRESLENY. PRO KAZDOU STENU JSOU  
40      'URCENY NEJMENSI A NEJVETSI HODNOTY X, Y A Z.  
50      'TYTO HODNOTY X A Y JSOU POVAZOVANY ZA "HRANIC-  
60      'NI PRAVOUHELNIK" STENY. VSECHNY OSTATNI STENY  
70      'JSOU S NIM SROVNIVANY. POKUD LIBOVOLNY VRCHOL  
80      'TESTOVANE STENY PADNE DOVNITR HRANICNIHO  
90      'PRAVOUHELNIKA JSOU POROVNANY HODNOTY Z. POKUD JE  
100     'HODNOTA Z VRCHOLU TESTOVANE STENY VETSI NEZ  
110     'NEJVETSI HODNOTA Z STENY, PAK JE TESTOVANA STENA  
120     'NASTAVENA NA OFF. POKUD BYLY TESTOVANY VSECHNY  
130     'STENY PROTI VSEM OSTATNIM STENAM, PREKRESLIME  
140     'OBRAZEK PRI UZITIU POUZE TECH STEN, KTERE JSOU ON.  
145     *****  
150 DIM X(9,6), Y(9,6), Z(9,6), C$(9)  
160 DIM XS(9), YS(9), ZS(9), XL(9), YL(9), ZL(9)  
170 XM = 279  
180 YM = 159      'XM A YM JSOU MAX. HODNOTY X A Y PRO TENTO  
190      'SYSTEM  
200     ***** CTENE BODY *****  
210 READ N      'N JE POSET STEN
```

```

220 FOR S = 1 TO N
230   C$(S) = "ON"
240   READ NV(S)      'NV JE POCET VRCHOLU STENY
250   FOR V = 1 TO NV(S)
260     READ X(S,V), Y(S,V), Z(S,V)
270     IF X(S,V)<0 OR X(S,V)>XM OR Y(S,V)<0 OR
Y(S,V)> YM THEN 880
280   NEXT V
290   X(S,NV(S)+1) = X(S,1)
300   Y(S,NV(S)+1) = Y(S,1)
310 NEXT S
320 SCREEN 1
330 GOSUB 680          'KRESLENI STEN KTERE JSOU ON
340 '
350 '***** URCENI VNEJSICH HRANIC KAZDE STENY *****
360 FOR S = 1 TO N
370   XS(S) = X(S,1)    'XS A XL JSOU NEJMENSI A NEJVETSII
380   YS(S) = Y(S,1)    'HODNOTY X
390   ZS(S) = Z(S,1)
400   FOR V = 2 TO NV(S)
410     IF X(S,V) < XS(S) THEN XS(S) = X(S,V)
420     IF Y(S,V) < YS(S) THEN YS(S) = Y(S,V)
430     IF Z(S,V) < ZS(S) THEN ZS(S) = Z(S,V)
440     IF X(S,V) > XL(S) THEN XL(S) = X(S,V)
450     IF Y(S,V) > YL(S) THEN YL(S) = Y(S,V)
460     IF Z(S,V) > ZL(S) THEN ZL(S) = Z(S,V)
470   NEXT V
480 NEXT S
490 '
500 '***** NASTAVENI SKRYTYCH STEN NA OFF *****
510 FOR S = 1 TO N
520   IF C$(S) = "OFF" THEN 640 'STENA JE JIZ OFF
530   FOR R = 1 TO N
540     IF C$(R) = "OFF" OR R = S THEN 630 'NEMUSI SE
545                               'POROVNAVAT
550     FOR V = 1 TO NV(R)
560       IF X(R,V) <= XS(S) OR X(R,V) >= XL(S) OR
Y(R,V) <= YS(S) OR Y(R,V) >= YL(S) THEN 620
570       'JINAK JE BOD (R,V) V HRANICNIM PRAVOUHELNiku
580       'JE PRED NEBO ZA ?
590       IF Z(R,V) <= ZL(S) THEN 630 'STENA R NENI ZA

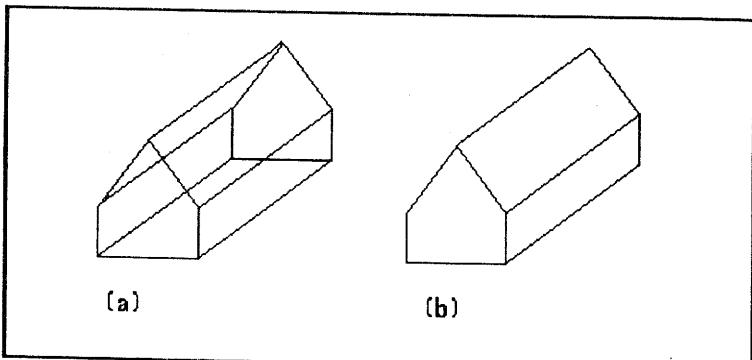
```

```

595           'STENOU S
600      C$(R) = "OFF"  'STENA R JE ZA STENOU S
610      GOTO 630      'POKRACUJ TESTEM DALSI STENY
620      NEXT V
630      NEXT R
640 NEXT S
650 GOSUB 680      'KRESLENI STEN, KTERE JSOU ON
660 GOTO 880
670 '
680 ##### PODPROGRAM KRESLENI #####
690 CLS
700 FOR S = 1 TO N
710     IF C$(S) = "OFF" THEN 750  'PRESKOC TUTO STENU
715                           ' - NEKRESLI
720     FOR V = 1 TO NV(S)
730         LINE(X(S,V), Y(S,V))-(X(S,V+1),Y(S,V+1))
740     NEXT V
750 NEXT S
760 RETURN
770 '
780 #####
790 DATA 7
800 DATA 5,90,140,60,150,140,10,150,110,0,120,70,20,90,110
810 DATA 50,4,150,110,10,150,140,10,230,80,110,230,50,100
820 DATA 5,230,50,100,230,80,110,170,80,160,170,50,150,200
830 DATA 10,120,4,170,50,150,170,80,160,90,140,60,90,110,50
840 DATA 4,90,140,50,150,140,10,230,80,110,170,80,160
850 DATA 4,150,110,0,230,50,100,200,10,120,120,70,20
860 DATA 4,90,110,50,120,70,20,200,10,120,170,50,150
870 #####
880 END

```

Prog. 9-3 Mazání skrytých ploch podle skrytých vrcholů.



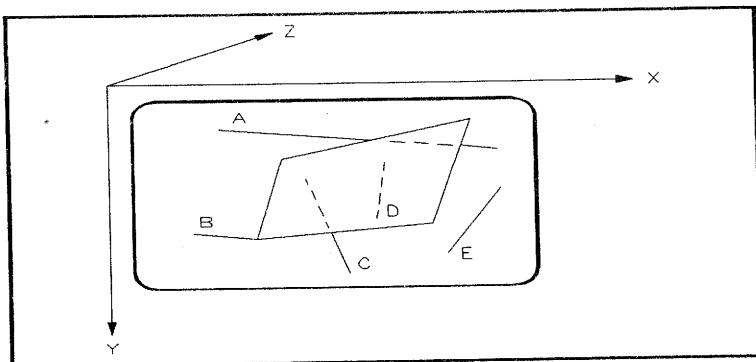
Obr. 9-8 Třírozměrné objekty zobrazené (a) před a (b) po vymazání skrytých ploch programem Prog. 9-3.

Objekty ve tvaru složitých geometrických těles jsou kresleny technikami užitymi v Prog. 9-3 nepřesně, protože test viditelnosti je velmi zjednodušen. Každá stěna objektu je určena buď jako celá viditelná, nebo jako celá skrytá, takže částečně skryté oblasti nemohou být nakresleny. Podobně, hraniční oblast stěny, užitá pro testování skrytých bodů je nepřesná pro nepravoúhlé stěny. Dlouhý a tenký diagonální objekt bude mít velkou pravoúhlou oblast, což by vedlo k chybnému určení viditelnosti.

### 7.3.2 Skryté úsečky

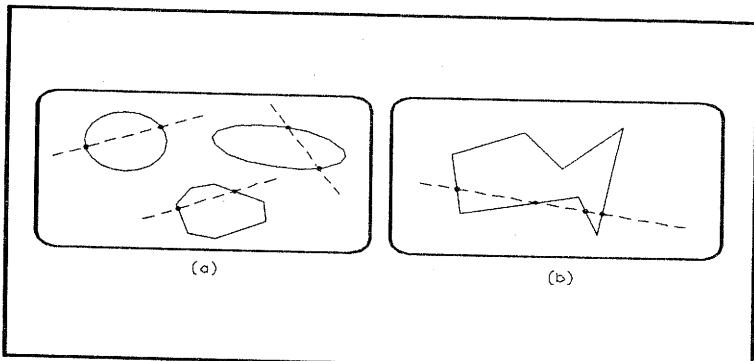
Předcházející dva programy testovaly stěny objektu pro určení viditelnosti. Každá testovaná stěna byla považována za viditelnou nebo neviditelnou. Nyní budeme uvážovat metodu pro určení částečné viditelnosti testováním viditelnosti jednotlivých úseček místo celých ploch. Náš program bude testovat úsečku a určí zda kterákoli její část je skryta za nějakou plochou.

Úsečka a plocha mohou mít různé vzájemné polohy. Na obrázku Obr. 9-9 jsou ilustrovány různé vzájemné vztahy mezi zobrazenou úsečkou a plochou. Pro tento příklad předpokládejme, že uvedená plocha je blíže k nám než kterákoliv z úseček. Takže úsečky B a E jsou celé viditelné, úsečka D je celá skrytá, horní překrytá část úsečky C je také skrytá a střední překrytá část úsečky A je neviditelná. Pro zjednodušení našich programů pro skryté úsečky budeme předpokládat, že toto jsou jediné možné vzájemné vztahy. To znamená, že úsečka může protínat plochu maximálně ve dvou bodech. To omezuje tvary ploch na kružnice, elipsy, nebo konkavní mnohoúhelníky [Obr. 9-10(a)], a vyloučí z uvažování všechny konkavní mnohoúhelníky [Obr. 9-10(b)], které by mohly mít více než dva průsečíky. Objekty s konkavními stěnami můžeme také zpracovávat předefinováním hranic stěny. Každá konkavní stěna může být rozdělena na dva nebo více konkveních mnohoúhelníků. Avšak tato technika doplní do objektu další úsečky, které mohou být nežádoucí.



Obr. 9-9 Možné vzájemné vztahy mezi úsečkou a plochou.

Úsečka A protíná hranice plochy ve dvou bodech; úsečky B a C protínají v jednom bodě; úsečka D je celá skryta; a úsečka E je celá viditelná. (Předpokládá se, že souřadnice Z všech úseček jsou větší než souřadnice Z plochy.)



Obr. 9-10 (a) Kružnice, elipsy a konvexní mnohoúhelníky (s vnitřními úhly menšími než 180 stupňů) nemohou mít více než dva průsečíky s přímkou. (b) Konkávní mnohoúhelníky (s vnitřními úhly většími než 180 stupňů) mohou mít více než dva průsečíky s přímkou.

Program 9-4 demonstruje metodu zjišťování a mazání skrytých částí úseček. Může být zadán libovolný počet ploch specifikováním souřadnic všech vrcholů každé plochy. V demonstračním příkladu bylo užito celkem 14 ploch, každá po čtyřech vrcholech. Tyto plochy mohou být všechny součástí jednoho objektu, jako v příkladu, nebo mohou představovat několik různých objektů. Izolované úsečky mohou být uvedeny jako plochy s dvěma vrcholy. Program po uvedení všech ploch nejprve nakreslí všechny vložené úsečky [Obr. 9-11(a)], pak zjistí a vymaze všechny části úseček skryté za nějakou plochou [Obr. 9-11(b)]. V zájmu odstranění konkávních mnohoúhelníků byly některé plochy objektu rozděleny na dva konvexní.

```

10  'PROGRAM 9-4. MAZANI CASTI USECEK CASTECNE VIDITELNYCH
20      'PLOCH. KONCOVE BODY USECEK PRO KAZDOUN PLOCHU S
30      '(NESMI BYT KONKAVNI) JSOU ULOZENY V X1, Y1, Z1 A
40      'X2, Y2, Z2. PROGRAM KRESLI OBRAZEK A ZACNE MAZAT
50      'SKRYTE CARY. POSTUPUJE PO JEDNOTLIVYCH PLOCHACH.
60      'ZJISTI MINIMALNI A MAXIMALNI HODNOTY X A Y A
70      'MINIMALNI HODNOTU Z, KTERE TVORI HRANICE ZPRACO-
80      'VAVANE PLOCHY. DALE JSOU URCENY SMERNICE A SOURAD-
90      'NICE Y PRUSECIKU KAZDE USECKY TETO PLOCHY. PROGRAM
100     'DALE TESTUJE VSECHNY OSTATNI USECKY VSECH OSTAT-
110     'NICH PLOCH S PLOCHOU S. POKUD JE TESTOVANA USECKA
120     'MIMO HRANICE TETO PLOCHY, JE VIDITELNA A POKRACUJE
130     'S TESTEM DALSI USECKY. JINAK SE POKUSIME NALEZT
140     'PRUSECIKY TESTOVANE USECKY A RUZNÝCH USECEK PLOCHY
150     '(S). KONTROLY MUSI BYT PROVEDENY PRO STANOVENI ZDA
160     'LEZI VYPOCITANY PRUSECIK SKUTECNE NA OBOU USECKACH
170     '(TESTOVANA A/NEBO USECKA PLOCHY KONCI PRED SKUTEC-
180     'NYM PRUSECIKEM). HODNOTY Z JSOU VYPOCITANY A UZITY
190     'K URCENI ZDA TESTOVANA USECKA JE PRED NEBO ZA PLO-
200     'CHOU VE VYPOCITANEM PRUSECIKU. POKUD NALEZNEME DVA
210     'PRUSECIKY, KONCOVE BODY SKRYTE CASTI, VYMAZEME
215     'TUTO CAST. POKUD JSME OTESTOVALI VSECHNY OSTATNI
220     'USECKY OBRAZKU S TOUTO PLOCHOU A VYMAZALI SKRYTE
225     'CASTI, POKRACUJEME DALSI PLOCHOU.
230     *****

240 CLS
250 DIM X1(14,4), X2(14,4), Y1(14,4), Y2(14,4),
     Z1(14,4), Z2(14,4)
260 DIM NV(14), M(4), B(4)
270 XM = 319
280 YM = 199
290     ***** NACTENI DAT *****
300 READ NS      'NS JE POČET PLOCH
310 FOR S = 1 TO NS
320 READ NV(S)   'NV(S) JE POČET VRCHOLU PRO TUTO PLOCHU S
330     READ X1(S,1), Y1(S,1), Z1(S,1)
340     FOR V = 2 TO NV(S)
350         READ X1(S,V), Y1(S,V), Z1(S,V)
360         IF X1(S,V)<0 OR X1(S,V)>XM THEN 2300
370         IF Y1(S,V)<0 OR Y1(S,V)>YM THEN 2300
380         X2(S,V-1) = X1(S,V)

```

```

390          Y2(S,V-1) = Y1(S,V)
400          Z2(S,V-1) = Z1(S,V)
410      NEXT V
420      X2(S,NV(S)) = X1(S,1)
430      Y2(S,NV(S)) = Y1(S,1)
440      Z2(S,NV(S)) = Z1(S,1)
450 NEXT S
460      'KRESLENI PLOCHY MNOHOUHELNika
470 SCREEN 1
480 FOR S = 1 TO NS
490     FOR V = 1 TO NV(S)
500         LINE(X1(S,V),Y1(S,V))-(X2(S,V),Y2(S,V))
510     NEXT V
520 NEXT S
530 REM
540 FOR S = 1 TO NS
550     GOSUB 650      'HLEDANI HRANIC A ROVNICE TETO PLOCHY
560     FOR SR = 1 TO NS
570         IF S = SR THEN 610
580         FOR L = 1 TO NV(SR)
590             GOSUB 1000  'TEST VIDITELNOSTI. VYMAZANI
595             'SKRYTYCH CASTI.
600         NEXT L
610     NEXT SR
620 NEXT S
630 GOTO 2300
640 '
650     '### URCENI HRANIC PLOCHY A ROVNICE KAZDE USECKY ###
660     'URCENI HRANIC PLOCHY X, Y A Z
670     XL = X1(S,1)   'XL JE NEJMENSI HODNOTA X. HLEDAME NEJVET
675           ' SI HODNOTU X V
680     XR = X1(S,1)   'XR, NEJMENSI HODNOTU Z V ZF, NEJMENSI
685           ' HODNOTU Y V
690     YT = Y1(S,1)   'YT, A NEJVETSI HODNOTU Y V YB
700     YB = Y1(S,1)
710     ZF = Z1(S,1)
720 FOR K = 1 TO NV(S)
730     IF Z1(S,K) < ZF THEN ZF = Z1(S,K)
740     IF Z2(S,K) < ZF THEN ZF = Z2(S,K)
750     IF Y1(S,K) < YT THEN YT = Y1(S,K)
760     IF Y2(S,K) < YT THEN YT = Y2(S,K)

```

```

770      IF Y1(S,K) > YB THEN YB = Y1(S,K)
780      IF Y2(S,K) > YB THEN YB = Y2(S,K)
800      IF X2(S,K) > XR THEN XR = X2(S,K)
810      IF X1(S,K) < XL THEN XL = X1(S,K)
820      IF X2(S,K) < XL THEN XL = X2(S,K)
830 NEXT K
840      ***** URCENI ROVNIC USECEK *****
850      'PRO KAZDOU USECKU PLOCHY JE URCENA SMERNICE (M)
860      'A SOURADNICE PRUSECIKU S OSOU Y (B)
870 FOR P = 1 TO NV(S)
880      IF Y1(S,P) = Y2(S,P) THEN 930  'HORIZONTALNI USECKA
890      IF X1(S,P) = X2(S,P) THEN 960  'VERTIKALNI USECKA
900      M(P) = (Y2(S,P) - Y1(S,P)) / (X2(S,P) - X1(S,P))
910      B(P) = Y1(S,P) - M(P) * X1(S,P)
920      GOTO 970
930      M(P) = 0          'SMERNICE HORIZONTALY JE 0
940      B(P) = Y1(S,P)
950      GOTO 970
960      M(P) = 9999     'SMERNICE VERTIKALY JE NEDEFINOVANA
970 NEXT P
980 RETURN
990
1000 '# ##### TEST VIDITELNOSTI USECKY #####
1010 'JSOU-LI BODY TESTOVANE USECKY (SR,L) VNE HRANIC
1020 'PLOCHY (S), PAK JE USECKA VIDITELNA VZHLEDEM K
1030 'TETO PLOSE
1040 IF Z1(SR,L) <= ZF AND Z2(SR,L) <= ZF THEN 2130
     'USECKA JE VIDITELNA
1050 IF Y1(SR,L) <= YT AND Y2(SR,L) <= YT THEN 2130
     'USECKA JE VIDITELNA
1060 IF Y1(SR,L) >= YB AND Y2(SR,L) >= YB THEN 2130
     'USECKA JE VIDITELNA
1070 IF X1(SR,L) <= XL AND X2(SR,L) <= XL THEN 2130
     'USECKA JE VIDITELNA
1080 IF X1(SR,L) >= XR AND X2(SR,L) >= XR THEN 2130
     'USECKA JE VIDITELNA
1090      'JINAK JE ALESPOUN JEDEN BOD UVNITR PRAVOUHELNIKA
1100      'OBKLOPUJICIHO TUTO PLOCHU
1110 'URCENI SMERNICE MT A PRUSECIKA BT TESTOVANE USECKY.
1120 IF X1(SR,L) = X2(SR,L) THEN 1170  'VERTIKALNI USECKA
1130 IF Y1(SR,L) = Y2(SR,L) THEN 1190  'HORIZONTALNI USECKA

```

```

1140 MT = (Y1(SR,L) - Y2(SR,L)) / (X1(SR,L) - X2(SR,L))
1150 BT = Y1(SR,L) - MT * X1(SR,L)
1160 GOTO 1210
1170 MT = 9999      'SMERNICE VERTIKALY JE NEDEFINOVANA
1180 GOTO 1210
1190 MT = 0          'SMERNICE HORIZONTALY JE 0
1200 BT = Y1(SR,L)
1210 C = 0          'C JE POSET KONCOVYCH BODU SKRYTE CASTI
1220   'TEST SE VSEMI USECKAMI TETO PLOCHY
1230 FOR K = 1 TO NV(S)
1240   'KDYZ JE TO SDILENA HRANA, POKRACUJ DALSI USECKOU
     ZE SR
1250   IF X1(S,K)=X1(SR,L) AND Y1(S,K)=Y1(SR,L) AND
     X2(S,K)=X2(SR,L) AND Y2(S,K)=Y2(SR,L) THEN 2130
1260   IF X1(S,K)=X2(SR,L) AND Y1(S,K)=Y2(SR,L) AND
     X2(S,K)=X1(SR,L) AND Y2(S,K)=Y1(SR,L) THEN 2130
1270   IF M(K)=MT THEN 2090      'USECKY JSOU ROVNOBEZNE
1280   'JINAK URCI PRUSECIK XP,YP TESTOVANE USECKY
1290   '(L ZE SR) A USECKY PLOCHY (K ZE S)
1300   IF X1(S,K) <> X2(S,K) THEN 1340
1310   XP = X1(S,K)      'STENOVKA USECKA JE VERTIKALNI
1320   YP = MT * XP + BT
1330   GOTO 1490
1340   IF X1(SR,L) <> X2(SR,L) THEN 1380
1350   XP = X1(SR,L)      'TESTOVANA USECKA JE VERTIKALNI
1360   YP = M(K) * XP + B(K)
1370   GOTO 1490
1380   IF Y1(S,K) <> Y2(S,K) THEN 1420
1390   YP = Y1(S,K)      'STENOVKA USECKA JE HORIZONTALNI
1400   XP = (YP - BT) / MT
1410   GOTO 1490
1420   IF Y1(SR,L) <> Y2(SR,L) THEN 1460
1430   YP = Y1(SR,L)      'TESTOVANA USECKA JE HORIZONTALNI
1440   XP = (YP - B(K)) / M(K)
1450   GOTO 1490
1460   XP = (BT - B(K)) / (M(K) - MT)
1470   YP = (MT * XP + BT)
1480   'PRUSECIK USECEK XP,YP. KDYZ NENI MEZI KONCOVYMI
1490   'BODY USECKY K ZE S, POKRACUJ DALSI USECKOU
1500   '(L ZE SR)
1510   IF XP<X1(S,K) AND XP<X2(S,K) THEN 2090

```

```

1520   IF XP>X1(S,K) AND XP>X2(S,K) THEN 2090
1530   IF YP<Y1(S,K) AND YP<Y2(S,K) THEN 2090
1540   IF YP>Y1(S,K) AND YP>Y2(S,K) THEN 2090
1550   'JINAK NAJDI HODNOTU Z PRO XP,YP NA TESTOVANE USEC-
1560   'CE A PLOSE. KDYZ JE HODNOTA Z PRO XP,YP NA TESTO-
1570   'VANE USECCE (ZL) MENSI NEZ HODNOTA Z PRO XP,YP NA
1580   'USECCE PLOCHY (ZS), PAK JE TESTOVANA USECKA PRED
1590   'PLOCHOU A TUDIZ JE VIDITELNA.
1600   IF X1(SR,L) = X2(SR,L) THEN 1630
1610   ZL = (XP-X1(SR,L))/(X2(SR,L)-X1(SR,L))*  

    (Z2(SR,L)-Z1(SR,L))+Z1(SR,L)
1620   GOTO 1640
1630   ZL = (YP-Y1(SR,L))/(Y2(SR,L)-Y1(SR,L))*  

    (Z2(SR,L)-Z1(SR,L))+Z1(SR,L)
1640   'NAJDI HODNOTU Z PRUSECIKU NA USECCE PLOCHY
1650   IF X1(S,K) = X2(S,K) THEN 1680
1660   ZS = (XP-X1(S,K))/(X2(S,K)-X1(S,K))* (Z2(S,K)-  

    Z1(S,K))+Z1(S,K)
1670   GOTO 1690
1680   ZS = (YP-Y1(S,K))/(Y2(S,K)-Y1(S,K))* (Z2(S,K)-  

    Z1(S,K))+Z1(S,K)
1690   IF ZL < ZS THEN 2090
1700   ,
1710   'KDYZ BOD XP,YP NENI MEZI KONCOVYMI BODY USECKY L
1720   'ZE SR, PAK XP NEBO YP MUSI BYT NASTAVENO NA
1730   'HODNOTU PRISLUSNEHO KONCOVEHO BODU L ZE SR
1740   IF XP < X1(SR,L) AND XP < X2(SR,L) THEN 1770
1750   IF XP > X1(SR,L) AND XP > X2(SR,L) THEN 1770
1760   GOTO 1840
1770   IF ABS(XP - X1(SR,L)) < ABS(XP - X2(SR,L)) THEN
1810
1780   XP = X2(SR,L)
1790   YP = Y2(SR,L)
1800   GOTO 1970
1810   XP = X1(SR,L)
1820   YP = Y1(SR,L)
1830   GOTO 1970
1840   IF YP < Y1(SR,L) AND YP < Y2(SR,L) THEN 1870
1850   IF YP > Y1(SR,L) AND YP > Y2(SR,L) THEN 1870
1860   GOTO 1970

```

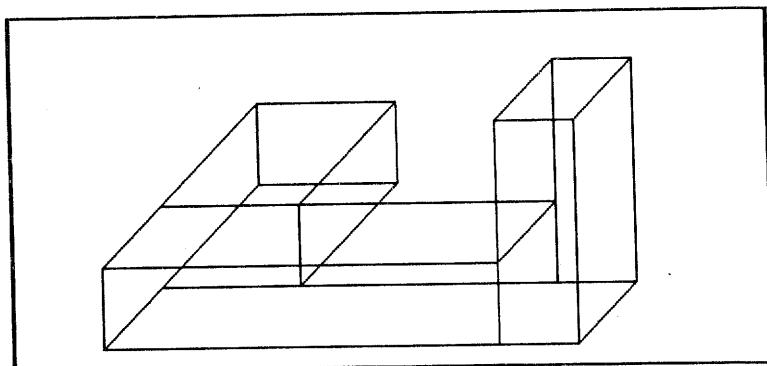
```

1870      IF ABS(YP - Y1(SR,L)) < ABS(YP - Y2(SR,L)) THEN
1910
1880      YP = Y2(SR,L)
1890      XP = X2(SR,L)
1900      GOTO 1970
1910      YP = Y1(SR,L)
1920      XP = X1(SR,L)
1930
1940      'NEVYTVORILI JSME Z NEPOZORNOSTI HRANOVOU USECKU?
1950      'MA-LI TESTOVANA USECKA SHODNOU SMERNICI A SPOLEC-
1960      'NY BOD S LIBOVOLNOU USECKOU TETO PLOCHY, NEMAZAT
1970      FOR J = 1 TO NV(S)
1980          IF MT = M(J) AND YP = M(J) * XP + B(J) THEN
2130
1990      NEXT J
2000      IF C <> 0 THEN 2050
2010      XA = XP      'TOTO JE PRVY BOD SKRYTE CASTI
2020      YA = YP      'ULOZIT DO XA, YA
2030      C = C + 1
2040      GOTO 2090
2050      IF XP = XA AND YP = YA THEN 2090 'SHODNY BOD
        (VRCHOL)
2060      XD = XP      'ULOZ DRUHY BOD DO XD, YD
2070      YD = YP
2080      C = C + 1
2090 NEXT K
2100
2110 IF C < 2 THEN 2130
2120 LINE(XA,YA)-(XD,YD),0  'VYMAZANI SKRYTE CASTI USECKY
2130 RETURN
2140 #####*
2150 DATA 14
2160 DATA 4,30,130,67,30,170,71,230,170,21,230,130,17
2170 DATA 4,230,60,10,230,170,21,270,170,11,270,60,0
2180 DATA 4,270,60,0,270,170,11,300,140,61,300,30,50
2190 DATA 4,260,30,60,260,140,71,300,140,61,300,30,50
2200 DATA 4,130,100,99.5,130,140,103.5,260,140,71,
        260,100,67
2210 DATA 4,130,100,99.5,130,140,103.5,180,90,186.8,
        180,50,182.8

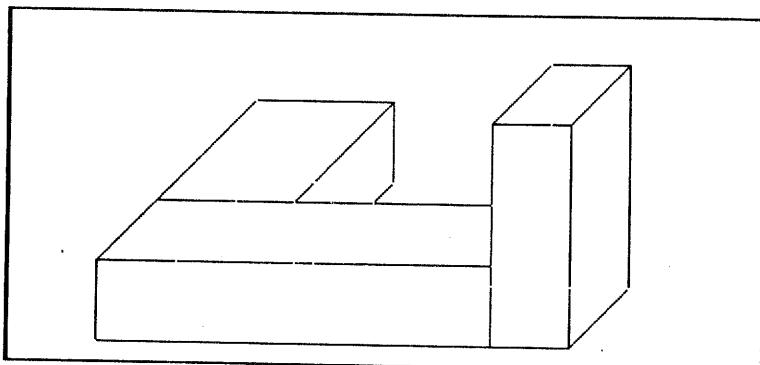
```

```
2220 DATA 4,110,50,200.3,110,90,204.3,180,90,186.8,180,50,  
     182.8  
2230 DATA 4,30,130,67,30,170,71,110,90,204.3,110,50,200.3  
2240 DATA 4,230,60,10,230,130,17,260,100,67,260,30,60  
2250 DATA 4,260,30,60,230,60,10,270,60,0,300,30,50  
2260 DATA 4,110,50,200.3,60,100,117,130,100,99.5,180,50,  
     182.8  
2270 DATA 4,60,100,117,30,130,67,230,130,17,260,100,67  
2280 DATA 4,110,90,204.3,60,140,121,130,140,103.5,180,90,  
     186.8  
2290 DATA 4,60,140,121,30,170,71,270,170,11,300,140,61  
2300 END
```

Prog. 9-4 Mazání skrytých částí úseček pro částečně viditelné úsečky a plochy.



(a)



(b)

Obr. 9-11 Třírozměrný objekt (a) vstup programu Prog. 9-4 je zobrazen (b) s vymazáním skrytých úseček.

V Prog. 9-4 jsou zpracovávány postupně uvedené stěny a všechny zbývající úsečky zobrazení jsou testovány na viditelnost vzhledem k této stěně. Pokud je úsečka vně pravoúhlé hraniční oblasti stěny, je viditelná. Jinak ji musíme testovat s aktuálními hranicemi mnohoúhelníka. To se provádí výpočtem průsečíku pro každou hraniční úsečku stěny. Testovaná úsečka a hraniční úsečka se protínají, pokud jejich průsečík leží mezi koncovými body obou úseček. V tomto případě kontrolujeme, zda hodnota Z testované úsečky je větší než hodnota Z hraniční úsečky v tomto bodu. Pokud ano, je koncový bod uložen jako jeden konec skryté části úsečky. Pokud je tento bod mezi koncovými body stěnové úsečky a není mezi koncovými body testované úsečky, uložíme nejbližší koncový bod testované úsečky jako jeden konec skryté části úsečky. Ve všech ostatních případech není uložen žádný bod. Byly-li na této cestě nalezeny dva různé body, vymažeme část úsečky mezi těmito dvěma body.

Nemohou-li být nalezeny dva body, je úsečka celá viditelná vzhledem k uvažované stěně.

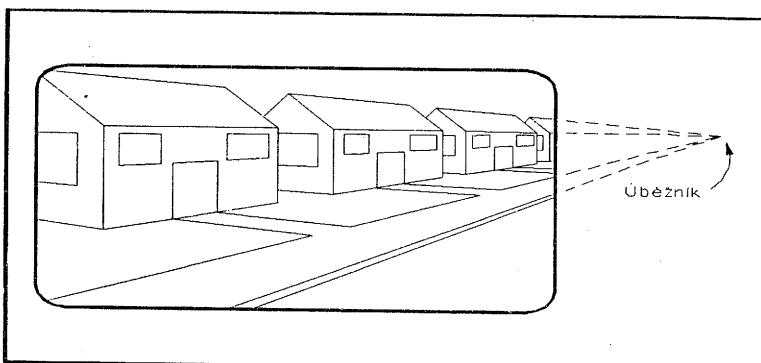
Uvedený program by mohl být rozšířen tak, aby umožňoval zpracování konkávních ploch a složitější možnosti průsečíků. Usečka protínající konkávní plochu může mít více než dva průsečíky. Tuto situaci můžeme řešit určením zda každý koncový bod úsečky byl uvnitř nebo vně hranice mnohoúhelníka a určením skrytých částí od jednoho konce úsečky. Pokud je jeden konec uvnitř, vymažeme část úsečky od tohoto koncového bodu k prvemu průsečíku s hranicí. Také vymažeme část od druhého průsečíku k třetímu, atd. Pokud je některý koncový bod vně, vymaže se část mezi prvým a druhým průsečíkem, mezi třetím a čtvrtým, atd. Je také možné, že úsečka, která má být částečně viditelná protíná stěnu ve vnitřním bodu. To může nastat pokud buď stěna nebo úsečka mají proměnnou hodnotu souřadnice Z, jeden konec úsečky je před stěnou a druhý za stěnou. V tomto případě můžeme zjistit průsečík pomocí definičních rovnic pro třírozměrné úsečky a roviny, ale bude nutné větší množství výpočtů v programu. Diskutovali jsme několik z mnoha možných metod mazání skrytých úseček a stěn. Některé metody jsou použitelné pouze pro omezené tvary těles. Některé metody vyžadují větší paměť, nebo větší dobu výpočtu než jiné. Připustíme-li složitější tvary těles v našich zobrazeních, můžeme očekávat, že techniky mazání budou složitější. Obvykle volíme metodu, která bude mazat skryté části v nejkratším čase. To je zvláště důležité pro aplikace užívající animovaná zobrazení.

#### 7.4. Perspektivní pohledy

Mazání skrytých úseček na třírozměrné scéně poskytuje informace o hloubce a zvyšuje realističnost našich plochých obrázků. Dalším prostředkem pro dosažení realističnosti a

hloubky v našich zobrazeních je navrhovat objekty na stínítku obrázovky s perspektivou. Pozorujeme-li přirozené objekty, vypadají menší, jsou-li dále od nás. Řada budov, uvedená na Obr. 9-12, vypadá jako když bližší budovy jsou větší než vzdálenější. Na tomto perspektivním pohledu se rovnoběžné přímky navzájem sbližují s rostoucí vzdáleností.

Abychom získali perspektivní pohled, můžeme navrhnout scénu jako je na Obr. 9-12 na grafickém papíru, všechny rovnoběžky se protínají v nějakém vzdáleném bodu, zvaném úběžník (vanishing point). Pak jsou určovány a vynášeny souřadnice X a Y objektů.



Obr. 9-12 V perspektivním pohledu se rovnoběžné přímky sbíhají do úběžníku, takže vzdálenější objekty vypadají menší než bližší objekty.

Takovým způsobem můžeme zobrazit perspektivní pohled libovolné scény nakreslené na grafickém papíru. Každá změna scény a každá jiná scéna vyžaduje opakování celého postupu od návrhu na grafickém papíru.

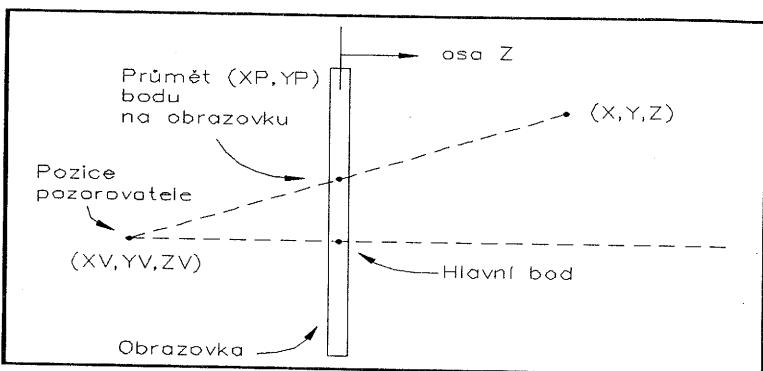
Další cesta k dosažení perspektivy je užití transformačních rovnic pro perspektivu v zobrazovacím programu. To nám poskytne větší pružnost. Animované scény mohou být navrhován jako perspektivní a my můžeme zobrazovat opakované vzory perspektivně bez nutnosti manuálního určování pohledu pro každý výskyt tohoto vzoru. Souřadnice návrhu obecného domu na Obr. 9-12 mohou být definovány jednou, pak opakovaně vynášeny v relativní velikosti podle umístění v hloubce.

Pro libovolný souřadný bod (X,Y,Z) ve třírozměrné scéně je možno vypočítat transformovanou pozici (XP,YP) na stínítku obrazovky, která poskytuje perspektivní pohled, ze vztahů

$$XP = \frac{XV + (XV - X) * ZV}{(Z - ZV)} \quad (9-1)$$

$$YP = \frac{YV + (YV - Y) * ZV}{(Z - ZV)}$$

kde bod (XV,YV,ZV) určuje pozici pozorovatele před stínítkem obrazovky. Bod (XV,YV) na stínítku obrazovky je úběžníkem perspektivního pohledu. Obrázek 9-13 ilustruje vzájemné vztahy mezi těmito souřadnými hodnotami ze strany pohledu na stínítko obrazovky. Pro body s hodnotou  $Z = 0$  nedochází k žádné změně souřadnic:  $(XP,YP) = (X,Y)$ . Pro body za stínítkem ( $Z > 0$ ) musí být souřadnice ZV vždy záporné číslo, protože se díváme z místa před stínítkem. Větší hodnoty ZV budou tvořit menší perspektivu (menší sbíhání rovnoběžek). Přibližujeme-li pozici pozorovatele ke stínítku, zvětšujeme perspektivu objektů zobrazením větší sbíhavosti rovnoběžek.



Obr. 9-13 Bod se souřadnicemi  $(X, Y, Z)$  je promítán na stínítko obrazovky do pozice  $(XP, YP)$  při pozici pozorovatele  $(Xv, Yv, Zv)$ .

V Prog. 9-5 počítáme a zobrazujeme perspektivní pohled na silnici lemovanou telefonními sloupy. Výsledek je uveden na Obr. 9-14. Tento program ilustruje techniku opakovánoho vynášení definovaných objektů (v tomto případě telefonní sloup) změnou jeho hloubky a výpočtem transformovaných pozic podle rovnic perspektivy (9-1). Můžeme měnit polohu úběžníku a hodnotu  $ZV$ , dokud nejsou objekty promítány mimo stínítko obrazovky.

```

10  'PROGRAM 9-5. KRESLENI TELEFONNICH SLOUPU S PERSPEKTI-
20    'VOU. TELEFONNI SLOUPY JSOU DEFINOVANY JEDNOU V
30    'PRIKAZECH DATA. POLOHA POZOROVATELE (XV, YV, ZV) JE
40    'ZADAVANA JAKO VSTUP. PRO VYPOCET NOVYCH SOURADNIC
50    'X A Y PODLE Z JSOU UZITY ROVNICE PERSPEKTIVY.
60  CLS
70  DIM X1(8), Y1(8), X2(8), Y2(8)
80  XM = 319
90  YM = 199  'XM A YM JSOU MAX. HODNOTY X A Y PRO TENTO
              'SYSTEM
100   'STANOVENI SOURADNIC POZOROVATELE
110 PRINT "UVED X, Y, Z POZOROVATELE"

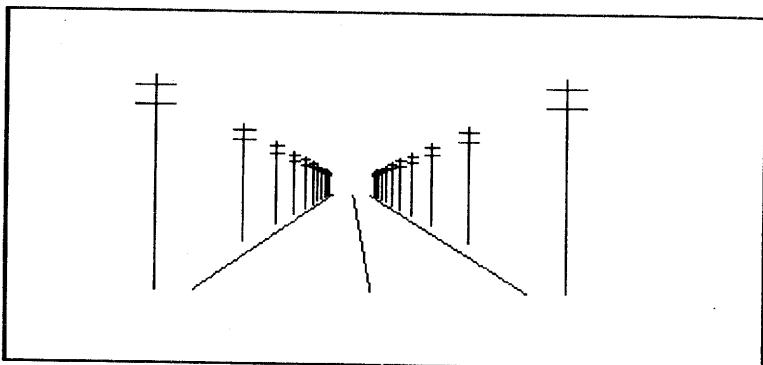
```

```

120 PRINT "X A Y MUSI BYT NA STINITKU OBRAZOVKY, Z MUSI
    BYT ZAPORNE"
130 INPUT XV, YV, ZV
140 IF XV<0 OR XV>XM OR YV<0 OR YV>YM THEN 110
150 IF ZV => 0 THEN 110
160 CLS
170 SCREEN 1
180 FOR K = 1 TO 6
190     READ X1, Y1, X2, Y2
200     FOR Z = 0 TO 5000 STEP 500
210         'VYPOCET KONSTANTNI CASTI ROVNICE
220         P = -ZV / (Z - ZV)
230         'VYPOCET BODU USECKY S TOUTO HODNOTOU Z
240         XA = XV + (X1 - XV) * P
250         YA = YV + (Y1 - YV) * P
260         XB = XV + (X2 - XV) * P
270         YB = YV + (Y2 - YV) * P
280         LINE(XA,YA)-(XB,YB)
290     NEXT Z
300 NEXT K
310     'KRESLENI OKRAJU A STREDU SILNICE
320 FOR K = 1 TO 3
330     READ XA, YA
340     XB = XV + (XA - XV) * P
350     YB = YV + (YA - YV) * P
360     LINE(XA,YA)-(XB,YB)
370 NEXT K
380     ****
390 DATA 50,45,50,155
400 DATA 40,60,60,60
410 DATA 40,50,60,50
420 DATA 260,45,260,155
430 DATA 250,60,270,60
440 DATA 250,50,270,50
450 DATA 70,155,160,155,240,155
460 END

```

Prog. 9-5 Kreslení třírozměrné scény s opakovánými perspektivními pohledy objektu (silnice lemovaná telefonními sloupy).



Obr. 9-14 Výstup programu Prog. 9-5, ukazující perspektivní pohled na silnici lemovanou telefonními sloupy.

Perspektivní pohled na jeden objekt je zobrazován programem Prog. 9-6. Těleso je definováno v pravoúhlé projekci uprostřed stínítka obrazovky. Volbou různých pozic pozorovatele můžeme zobrazovat různé perspektivní pohledy na objekt (Obr. 9-15). Tento program ilustruje obecnou metodu definování třírozměrného objektu v souřadém systému stínítka obrazovky a projektování dálčího pohledu při užití rovníc perspektivních transformací.

```

10  'PROGRAM 9-6. DEFINOVANI 3ROZMERNEHO OBJEKTU S PERSPEK-
20  'TIVOU. DEFINUJE OBJEKT VE 3 ROZMERECH, VYTVORI
30  'BOD ZE KTEREHO JE OBJEKT POZOROVAN, POUZIJE
40  'PERSPEKТИVU NA BODY OBJEKTU A NAKRESLI VIDITELNE
50  'CASTI OBJEKTU. SYMETRIE OBJEKTU JE VYUZITO K
60  'URCENI VIDITELNYCH STRAN.
70  CLS
80  DIM X(8), Y(8), Z(8), XP(8), YP(8), D(8)
90  XM = 319
100 YM = 199
110  ***** NACTENI DAT *****
120 READ N

```

```

130 FOR K = 1 TO N
140     READ X(K), Y(K), Z(K)
150     IF X(K)<0 OR X(K)>XM OR Y(K)<0 OR Y(K)>YM THEN 880
160 NEXT K
170 SCREEN 1
180 FOR K = 1 TO N/2 - 1    'NAKRESLIT JEN PREDNI STENU
190     LINE(X(K),Y(K))-(X(K+1),Y(K+1))
200 NEXT K
210 LINE(X(N/2),Y(N/2))-(X(1),Y(1))
220     '***** VYTVORENI POZOROVATELE A KRESLENI *****
230 LOCATE 1,1
240 PRINT "UVED SOURADNICE POZOROVATELE"
250 PRINT "SOURADNICE Z MUSI BYT ZAPORNA"
260 PRINT "UVED 0,0,0 PRO UKONCENI (QUIT)"
270 INPUT XV, YV, ZV
280 IF XV = 0 AND YV = 0 AND ZV = 0 THEN 880
290 IF ZV >= 0 THEN 240
300 IF XV = 0 AND YV = 0 AND ZV = 0 THEN 880
310     'PREPOCITANI BODU NA PERSPEKTIVU
320 FOR K = 1 TO N
330     XP(K) = XV + (X(K) - XV) * -ZV / (Z(K) - ZV)
340     YP(K) = YV + (Y(K) - YV) * -ZV / (Z(K) - ZV)
350 NEXT K
360     'URCENI VZDALENOSTI BODU OD POZOROVATELE
370 FOR K = 1 TO N
380     D(K) = SQR((X(K)-XV)^2 + (Y(K)-YV)^2 + (Z(K)-ZV)^2)
390 NEXT K
400 GOSUB 420    'KRESLENI
410 GOTO 220
420 '##### PODPROGRAM KRESLENI #####
430 CLS
440 IF D(1) = D(5) THEN 570
450 IF D(1) > D(5) THEN 520
460 IF Z(1) <= ZV THEN 570    'JE STENA VIDITELNA Z TOHOTO
                                BODU ?
470 FOR K = 1 TO 3          'KRESLENI STENY OBSAHUJICI BOD 1
480     LINE(XP(K),YP(K))-(XP(K+1),YP(K+1))
490 NEXT K
500 LINE(XP(4),YP(4))-(XP(1),YP(1))
510 GOTO 570

```

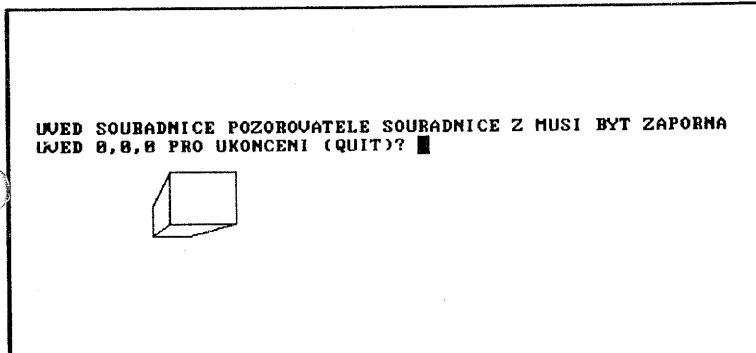
```

520 IF Z(5) >= ZV THEN 570  'JE STENA VIDITELNA Z TOHOTO
    BODU ?
530 FOR K = 5 TO 7          'KRESLENI STENY OBSAHUJICI BOD 5
540     LINE(XP(K),YP(K))-(XP(K+1),YP(K+1))
550 NEXT K
560 LINE(XP(8),YP(8))-(XP(5),YP(5))
570 IF D(1) = D(4) THEN 700
580 IF D(1) > D(4) THEN 650
590 IF X(1) >= XV THEN 700  'JE STENA VIDITELNA Z TOHOTO
    BODU ?
600 LINE(XP(1),YP(1))-(XP(2),YP(2))  'KRESLENI STENY
610 LINE(XP(2),YP(2))-(XP(6),YP(6))  'OBSAHUJICI BOD 1
620 LINE(XP(6),YP(6))-(XP(5),YP(5))
630 LINE(XP(5),YP(5))-(XP(1),YP(1))
640 GOTO 700
650 IF X(4) <= XV THEN 700  'JE STENA VIDITELNA Z TOHOTO
    BODU ?
660 LINE(XP(4),YP(4))-(XP(3),YP(3))  'KRESLENI STENY
670 LINE(XP(3),YP(3))-(XP(7),YP(7))  'OBSAHUJICI BOD 4
680 LINE(XP(7),YP(7))-(XP(8),YP(8))
690 LINE(XP(8),YP(8))-(XP(4),YP(4))
700 IF D(1) = D(2) THEN 830
710 IF D(1) > D(2) THEN 780
720 IF Y(1) <= YV THEN 830  'JE STENA VIDITELNA Z TOHOTO
    BODU ?
730 LINE(XP(1),YP(1))-(XP(4),YP(4))  'KRESLENI STENY
740 LINE(XP(4),YP(4))-(XP(8),YP(8))  'OBSAHUJICI BOD 1
750 LINE(XP(8),YP(8))-(XP(5),YP(5))
760 LINE(XP(5),YP(5))-(XP(1),YP(1))
770 GOTO 830
780 IF Y(2) >= YV THEN 830  'JE STENA VIDITELNA Z TOHOTO
    BODU ?
790 LINE(XP(2),YP(2))-(XP(3),YP(3))  'KRESLENI STENY
800 LINE(XP(3),YP(3))-(XP(7),YP(7))  'OBSAHUJICI BOD 2
810 LINE(XP(7),YP(7))-(XP(6),YP(6))
820 LINE(XP(6),YP(6))-(XP(2),YP(2))
830 RETURN
840      ****
850 DATA 8
860 DATA 150,40,0,150,80,0,100,80,0,100,40,0
870 DATA 150,40,30,150,80,30,100,80,30,100,40,30

```

880 END

Prog. 9-6 Třírozměrné perspektivní pohledy na jeden objekt (kvádr).



Obr. 9-15 Perspektivní pohled na třírozměrný objekt zobrazený Prog. 9-6 pro polohu pozorovatele pod a nalevo od objektu.

Skryté plochy jsou identifikovány v Prog. 9-6 výpočtem vzdáleností od pozorovatele. Protože je kvádr užitý v tomto příkladu symetrický, kontrolujeme vzdálenosti symetricky protilehlých stěn. Jedna stěna z každého páru, která je dále od pozorovatele není viditelná. Vzdálenost bodu  $(X, Y, Z)$  od  $(X_V, Y_V, Z_V)$  je vypočítána podle

$$D = \sqrt{(X - X_V)^2 + (Y - Y_V)^2 + (Z - Z_V)^2} \quad (9-2)$$

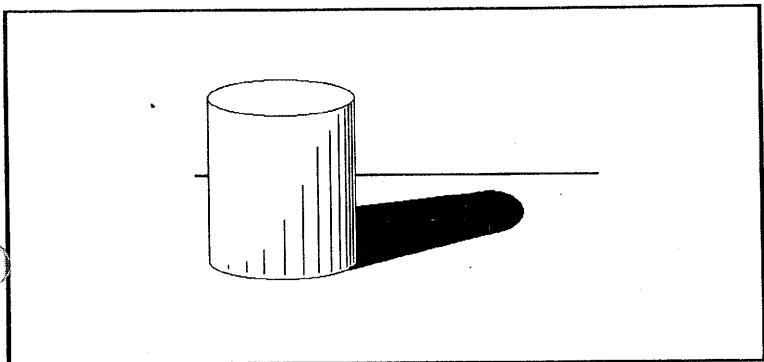
Dále musíme zkontrolovat ostatní stěny na viditelnost. Je možné, že již není viditelná žádná stěna. Například pozorování krychle přímo zpředu skryje všechny ostatní stěny. Stěny, horní, nebo dolní, budou viditelné pouze je-li poloha pozorovatele odlišná od přímého předního pohledu. Pro nesymetrické objekty můžeme užít metodu z Prog. 9-4 a vzdálenost  $D$ , vypočítanou z (9-2), pro kontroly hloubky.

## **7.5. Stínování a zvýrazňování**

---

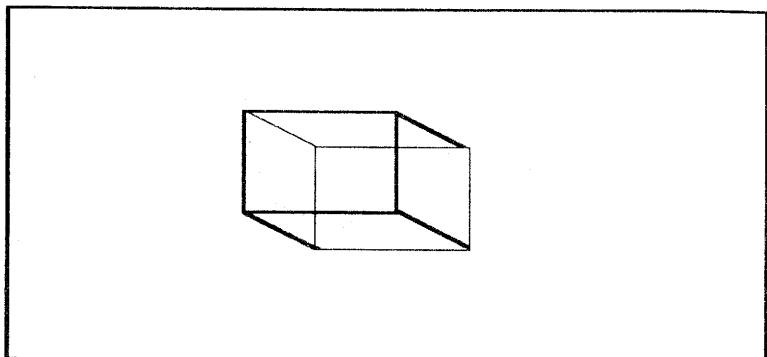
Informace o hloubce a realističnost mohou být zvýšeny v našich třírozměrných scénách užitím stínování. Obrázek 9-16 ilustruje možné vzory stínování pro zakřivené plochy. Vzory stínování mohou pomoci vytvořit obrys zakřivených ploch. Tmavší oblasti a stíny také pomáhají identifikovat zadní části objektů. Pro doplnění stínů volíme určitou polohu zdroje světla, jako je nalevo a před stínítkem obrazovky, a uplatníme stínování a stíny na stranách opačných od zdroje světla. Obecně, jemné stínové vzory a stíny nejsou efektivní, pokud není rozlišovací schopnost grafického systému vysoká. Jednoduché stínování stran opačných vzhledem ke zvolené poloze zdroje světla může být efektivní dokonce i při nízké rozlišovací schopnosti.

Některé ze stínových vzorů diskutovaných v Kapitole 3 mohou být definovány jako podprogramy použitelné uvnitř zobrazovacího programu téměř stejným způsobem jako byly specifikovány vnitřní oblasti pravoúhelníka v Prog. 9-1. Hranice oblasti, která má být stínována je specifikována a stínový vzor je použit na tuto oblast (místo mazání, jako v Prog. 9-1). Takové podprogramy se nazývají stínovací masky a mohou být určeny ke stínování různých mnohoúhelníkových, kruhových, nebo elliptických oblastí.



Obr. 9-16 Stínové vzory a stíny mohou pomoci zvýšit realističnost třírozměrných scén.

Zvýrazňování může být užito jako alternativa k mazání skrytých čar v třírozměrném zobrazení. S touto technikou můžeme doplnit informace o hloubce jednoduchým identifikováním předních úseček objektů. To může být provedeno tříděním úseček podle hloubky a zvýrazněním bližších jasnějšími barvami nebo dvojnásobně silnými čarami. Obrázek 9-17 ukazuje příklad zvýraznění předních úseček větší tloušťkou čáry, než jsou zadní, neboli skryté, úsečky. Pro objekty kreslené ve formě návrhu, může zvýrazňování poskytnout rychlou metodu identifikace přední a zadní strany objektů.



Obr. 9-17 Zvýrazněné úsečky třírozměrného objektu mohou být užity pro identifikaci bližších stran.

## 7.6. Grafy

Třírozměrné diagramy a grafy mohou být efektivní metodou znázornění většího počtu vzájemných vztahů. Třírozměrný sloupcový diagram, vytořený programem Prog. 9-7, vynáší vzájemné vztahy mezi třemi proměnnými: velikostmi populací pro dvě města během tří dekád. Obrázek 9-18 ukazuje výstup vybraných dat. Tento program užívá techniky diskutované u Prog. 9-1. Vzdálenější plochy jsou kresleny dříve, takže bližší plochy překrývají a mažou tyto vzdálenější plochy. Výška sloupů je vyjádřena v měřítku a vynesena na stínítko obrazovky metodami diskutovanými v Kapitole 4. Mezery mezi sloupcí jsou pro větší přehlednost zvětšeny. Program 9-7 může být doplněn o další proměnné. Například mohli bychom každý sloupec, vyjadřující celkovou populaci, rozdělit podle procent populace různých věkových skupin. Části sloupců mohou být barevně odlišeny pro vyjádření věkové skupiny. Existuje mnoho možností popisu. Mohli bychom odvodit identifikační popisy, které jsou

sešikmeny tak, aby odpovídaly směrům sloupců, nebo můžeme jednoduše nakreslit sloupce různými barvami nebo stínováním a použít legendu, jako na Obr. 9-18.

```
10 'PROGRAM 9-7. TRIROZMERNY SLOUPCOVY DIAGRAM
20 CLS
30 SCREEN 1
40 ***** KRESLENI POZADI *****
50 X = 230
60 XL = 20
70 XR = 319
80 LINE(X,0)-(X,120)
90 LINE(XL,30)-(XL,150)
100 LINE(XR,30)-(XR,150)
110 A = 600      'A JE HODNOTA PRO POPIS
120 RO = 4
130 C$ = "E"    'C$ JE INDIKATOR SUDE NEBO LICHE RADY
140 FOR Y = 0 TO 120 STEP 120/6
150     LINE(X,Y)-(XL,Y+30)
160     'POPIS HODNOTY POUZE PRO SUDOU RADU
170     IF C$ = "O" THEN 240
180     LOCATE RO,1
190     PRINT A
200     C$ = "O"
210     A = A - 200
220     RO = RO + 5
230     GOTO 250
240     C$ = "E"
250     LINE(X,Y)-(XR,Y+30)
260 NEXT Y
270 'NAKRESLENI ZAKLADU
280 LINE(20,150)-(109,180)
290 LINE(109,180)-(319,150)
300 LOCATE 23,17:PRINT "1950";
310 LOCATE 22,26:PRINT "1960";
320 LOCATE 21,35:PRINT "1970";
330 LOCATE 25,1
340 PRINT " Buffalo          Atlanta";
350 ML = -30/210  'ML JE SMERNICE LEVYCH ZNACEK SOURAD.SITE
360 MR = 30/89    'MR JE SMERNICE PRAVYCH ZNACEK SOUR. SITE
```

```

370 H = 40      'H JE HORIZONTALNI ROZMER KAZDEHO SLOUPCE
380 C = 0       'C JE POSET MEST ZAKRESLENYCH DO GRAFU
390 XL = 40     'DOLNI LEVY ROH SLOUPCE JE XL,YL
400 YL = 150
410 F = 3       'F JE BARVA UZITA PRO VYPLNENI SLOUPCE
420 O = 2       'O JE BARVA UZITA PRO KRESLENI SLOUPCE
430 XS = 78
440 '
450   'BLOK PRO BAREVNE KODOVANI MESTA
460 COLOR 0     'POUZITI VYPLN. BARVY NA CERNEM POZADI
470 FOR X = XS TO XS+20
480   LINE(X,191)-(X,199),F
490 NEXT X
500   ***** KRESLENI SLOUPCU PRO MESTA *****
510 FOR K = 1 TO 3
520   READ V
530   'URCENI HODNOTY POPULACE PODLE MERITKA PIXELU
540 HT = (120 * V) / 600
550 GOSUB 700     'VYPLNENI PLOCHY KVADRU
560 GOSUB 970     'NAKRESLENI KVADRU
570 XL = XL + 73  'PRESUN NA DALSI SLOUPEC
580 YL = YL - 10
590 NEXT K
600 C = C + 1
610 IF C = 2 THEN 1080  'JSME JIZ HOTOOV?
620   'ZMENA PROMENNYCH NA HODNOTY DALSIHO MESTA
630 XL = 91
640 YL = 165
650 F = 5         'VYPLNOVACI BARVA PRO DRUHE MESTO
660 O = 4         'BARVA PRO KRESLENI DRUHEHO MESTA
670 XS = 272
680 GOTO 450
690 '
700 ##### VYPLNOVANI OBLASTI KVADRU #####
710 BL = YL - HT * XL  'BL JE PRUSECIK HORNÍ LEVE
    HRANY SLOUPCE S OSOU Y
720 BR = YL - MR * XL  'BR JE PRUSECIK DOLNI LEVE
    HRANY SLOUPCE S OSOU Y
730 FOR X = XL TO XL+H/2
740   Y1 = ML * X + BL
750   Y2 = MR * X + BR

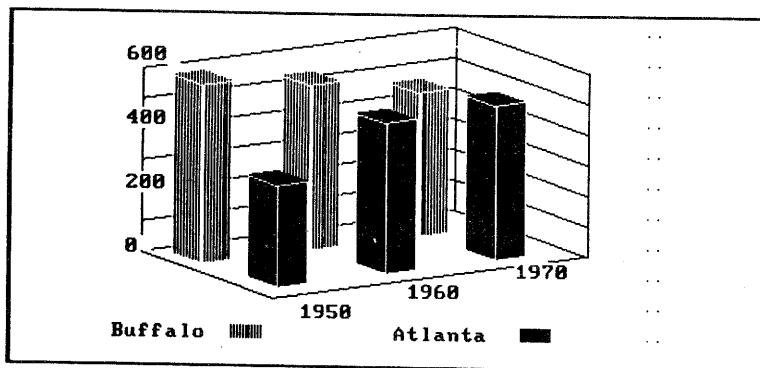
```

```

760      COLOR 0
770      LINE(X,Y1)-(X,Y2),F
780      COLOR 0
790      PSET(X,Y1),O
800      PSET(X,Y2),O
810 NEXT X
820 YT = Y1    'YT A YB JSOU HORNÍ A DOLNÍ HODNOTY SLOUPCE
830 YB = Y2
840 BL = YB - ML * (XL + H/2)  'BL JE PRUSECÍK DOLNÍ PRAVE
     HRANY SLOUPCE S OSOU Y
850 BR = YT - MR * (XL + H/2)  'BR JE PRUSECÍK HORNÍ PRAVE
     HRANY SLOUPCE S OSOU Y
860 FOR X = XL+H/2 TO XL+H
870      Y1 = MR * X + BR
880      Y2 = ML * X + BL
890      COLOR 0
900      LINE(X,Y1)-(X,Y2),F
910      COLOR 0
920      PSET(X,Y1),O
930      PSET(X,Y2),O
940 NEXT X
950 YR = Y2
960 RETURN
970 ##### NAKRESLENI KVADRU #####
980 COLOR 0           'ZMENA BARVY NA KRESLICI
990 LINE(XL,YL)-(XL,YL-HT),0
1000 LINE(XL+H/2,YB)-(XL+H/2,YB-HT),0
1010 LINE(XL+H,YR)-(XL+H,YR-HT),0
1020 LINE(XL,YL-HT)-(XL+H/2,YB-HT),0
1030 LINE(XL+H/2,YB-HT)-(XL+H,YR-HT),0
1040 RETURN
1050 #####
1060 DATA 580,532,462
1070 DATA 331,487,498
1080 END

```

Prog. 9-7 Třírozměrný sloupcový diagram.



Obr. 9-18 Třírozměrný sloupcový diagram, ukazující hodnoty populací (v tisících) pro dvě města v letech 1950, 1960, 1970, vytvořený programem Prog. 9-7.

Vzájemný vztah mezi několika proměnnými můžeme znázornit také vynášením trojrozměrných křivek. Program Prog. 9-8 vynáší pro ilustraci funkci  $Y=YC + H * \text{SIN}(W * SQR(X*X + Z*Z))$  pro zvolený interval souřadnic X a Z a pro vybrané konstanty Yc, H a W. Rozsah hodnot X jsme volili počítat ze vztahu  $XR * SQR(1 - \frac{(Z*Z)}{(ZR*ZR)})$ .

Tato eliptická funkce způsobuje, že se rozsah hodnot X mění pokaždé změní-li se hodnota souřadnice Z. Takže začínáme kreslením krátké křivky (má-li Z minimální hodnotu, -ZR), zvětšujeme délku křivek na maximum (Z = 0), a pak zmenšujeme délku křivek až na počáteční velikost (má-li Z maximální hodnotu, ZR). Vzhled výsledné plochy je uveden na Obr. 9-19. Pro definici rozsahu hodnot X pro každou hodnotu Z může být užit libovolný jiný funkcionální vztah (jako je lineární funkce nebo konstanta). Interval Z a konstanty XC, YC, H, W, XR a ZR jsou voleny tak, aby se výsledná křivka vešla na stínítko obrazovky. V Prog. 9-8 je

předpokládána velikost stínítka obrazovky 640 x 200. Vynášením X + Z a Y + Z/2 místo pouhých X a Y posuneme každou křivku trochu vpravo a nahoru po stínítku, křivky se rozprostřou a vytvoří trojrozměrný obraz.

Program 9-9 je modifikací Prog 9-8, která vyučuje překrývání čar, jak je uvedeno na Obr. 9-20. To se uskutečňuje kreslením křivek ze "předu" do "zadu" a nekreslením skrytých částí; tj. části křivky, které by byly překryty dříve nakreslenými čarami.

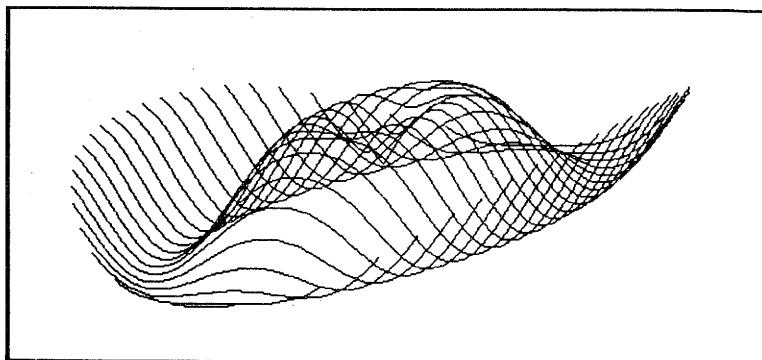
```

10  'PROGRAM 9-8. TRIROZMERNÁ KŘIVKA.
20      'VYNASI FINKCI SIN VE 3 DIMENZICH. Z SE MENI OD
30          '-ZR DO ZR. PRO KAZDOU HODNOTU Z JE URCEN ROZSAH
40          'HODNOT X. HODNOTA X SE MENI V TOMTO ROZSAHU,
50          'HODNOTA Y JE VYPOCITANA A KORIGOVANE HODNOTY X, Y
60          'JSOU PAK VYNESENY. XR A ZR JSOU VOLENY TAK, ABY
70          'SE VYSLEDNY GRAF VESEL NA STINÍTKO 640x200 BODU
80          '*****
90  CLS
100 SCREEN 2
110 XC = 320
120 YC = 115
130 XR = 175
140 ZR = 120      'Z SE BUDE MENIT OD -ZR DO ZR
150 H = 40
160 W = .043
170 FOR Z = -ZR+1 TO ZR-1 STEP 10
180     XL = INT(XR * SQR(1 - (Z * Z) / (ZR * ZR)) + .5)
190     X = -XL
200     Y = H * SIN(W * SQR(X * X + Z * Z))
210     X1 = XC + X + Z
220     Y1 = 199 - (YC + Y + Z/2)
230     FOR X = -XL+1 TO XL-1 STEP 5
240         Y = H * SIN(W * SQR(X * X + Z * Z))
250         X2 = XC + X + Z
260         Y2 = 199 - (YC + Y + Z/2)
270         LINE(X1,Y1)-(X2,Y2)
280         X1 = X2

```

```
290      Y1 = Y2
300      NEXT X
310 NEXT Z
320 END
```

Prog. 9-8 Vynášení třírozměrné křivky.



Obr. 9-19 Třírozměrné křivky vynesené programem Prog. 9-8.

Horní a dolní hranice hodnot Y, vynášených na stínítku obrazovky, jsou uchovány pro každou hodnotu X již nakreslených křivek. Části následujících křivek, které by padly mezi tyto hranice, nejsou kresleny. Části následujících křivek, které jsou vně těchto hranic jsou kresleny a také mohou způsobit změnu hranic. Pro ušetření paměti jsou pole UB a LB, která uchovávají hranice, dimenzována na velikost maxima rozsahu X. Tento rozsah může být vypočítán ze vztahů pro X1 a X2 na řádkách 340 a 380 programu. Můžeme jej vypočítat analytickými prostředky, nebo napsat krátký program pro výpočet vynášených hodnot X a tisknout minimální a maximální hodnoty. Pro tento příklad má X1, rozsah 424. Parametr XA je nastaven na minimální hodnotu

$X_1$  minus 1 a je použit jako přírůstek pro zobrazení aktuální vynášené hodnoty X do indexu pole.

```
10  'PROGRAM 9-9.VYNASENI VIDITEĽNYCH CAR TRIROZMER. GRAFU.
20  'VYNASI FUNKCI SIN VE 3 DIMENZICH. Z SE MENI OD
30  '-ZR DO ZR. PRO KAZDOU HODNOTU Z JE URCEN ROZSAH
40  'HODNOT X. HODNOTA X SE MENI V TOMTO ROZSAHU,
50  'HODNOTA Y JE VYPOCITANA A JSOU URCENY
60  'KORIGOVANE HODNOTY X,Y. PRO KAZDOU MOZNOU HODNOTU
70  'X JSOU UDRZOVANY HORNI A DOLNI HRANICE
80  'VYJADRUJICI INTERVAL HODNOT Y, KTERE JIZ BYLY
90  'VYNESENY PRO TOTO X. KAZDA VYPOCITANA HODNOTA Y
100 'JE KONTROLOVANA NA TYTO HRANICE - KDYZ JE UVNITR
110 'TECHTO HRANIC JE PRESKOCENA, KDYZ JE VNE HRANIC
120 'NAKRESLIME BOD A AKTUALIZUJEME HRANICE.
130 'XR A ZR JSOU VOLENY TAK, ABY SE VYSLEDNY GRAF
140 'VESEL NA STINITKO 640x200 PIXELU
145 '*****  

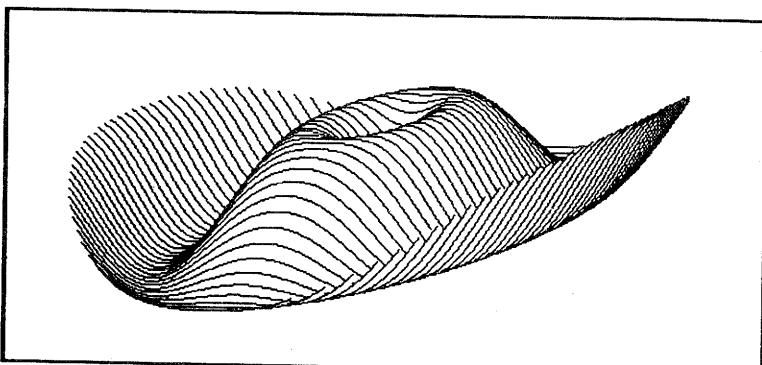
150 CLS
160 DIM UB(424), LB(424)  'VYNASI SE V ROZSAHU 424 HODNOT X
170 XC = 320
180 YC = 115
190 XR = 175
200 ZR = 120      'Z SE BUDE MENIT OD -ZR DO ZR
210 H = 40
220 W = .043
230 XA = 107
240      'INICIALIZACE POLI
250 FOR S = 1 TO 424
260     UB(S) = 0
270     LB(S) = 1000
280 NEXT S
290 SCREEN 2
300 FOR Z = -ZR+1 TO ZR-1 STEP 5
310     XL = INT(XR * SQR(1 - (Z * Z) / (ZR * ZR)) + .5)
320     X = -XL
330     Y = H * SIN(W * SQR(X * X + Z * Z))
340     X1 = X + XC + Z
350     Y1 = INT(199 - (YC + Y + Z/2) + .5)
360     FOR X = -XL+1 TO XL-1
370         Y = H * SIN(W * SQR(X * X + Z * Z))
```

```

380      X2 = XC + X + Z
390      Y2 = INT(199 - (YC + Y + Z/2) + .5)
400      'JE TENTO BOD UVNITR HRANIC JIZ NAKRESLENEHO ?
410      IF Y2 >= LB(X2-XA) THEN 450  'V HRANICICH -
NEKRESLIT !
420      LB(X2-XA) = Y2           'ZMENIT HRANICE
430      IF UB(X2-XA) = 0 THEN UB(X2-XA) = Y2 'NASTAVIT
TAKE HORNI HRANICI
440      GOTO 470
450      IF Y2 <= UB(X2-XA) THEN 480  'V HRANICICH -
NEKRESLIT !
460      UB(X2-XA) = Y2
470      LINE(X1,Y1)-(X2,Y2)
480      X1 = X2
490      Y1 = Y2
500      NEXT X
510 NEXT Z
520 END

```

Prog. 9-9 Vynášení třírozměrné křivky - zobrazování pouze viditelných částí čar vytváří obraz plochy.



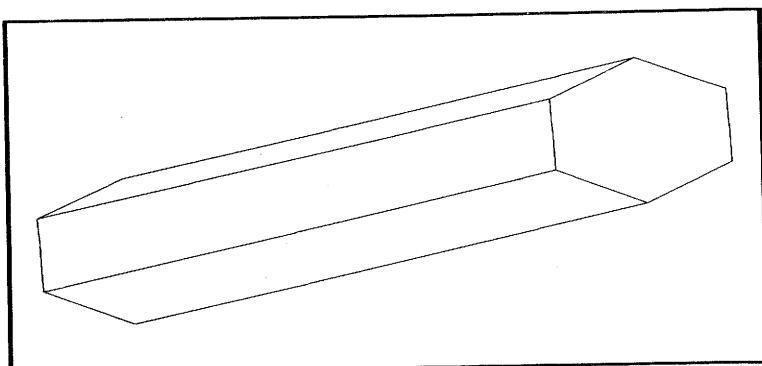
Obr. 9-20 Třírozměrná "plocha" vytvořena z křivek na Obr. 9-19 s odstraněnými skrytými čarami (Prog. 9-9).

Třírozměrné křivky mohou být vynášeny pro libovolné funkcionální vztahy obsahující souřadnice X, Y a Z pomocí

technik podobných těm z Prog. 9-9. Souřadnicové body mohou být počítány z rovnic, nebo zadány ve formě tabulek dat, jako jsou topografická data o výškách nebo hustota osídlení. Osy a popis pro tři souřadnicové směry mohou být doplněny jako v grafu na Obr. 9-18.

## Projekty programování

- 9-1. Navrhněte na grafickém papíru libovolný třírozměrný objekt určením (X,Y,Z) pro každý bod objektu. napište program zobrazující libovolný pravoúhlý průmět tohoto objektu.
- 9-2. Modifikujte Prog. 9-1 tak, aby zobrazoval libovolný typ mnohoúhelníka. Stínítko obrazovky může pak být vyplňeno kombinacemi trojúhelníků, pravoúhelníků, nebo jiných mnohoúhelníků. Hraniční rovnice pro každý obrazec jsou rovnice přímky se směrnicí a průsečíkem s osou Y, určenými koncovými body úsečky. Vstupem programu bude množina vrcholů každého mnohoúhelníka.
- 9-3. Navrhněte na grafickém papíru libovolné trojrozměrné těleso, vytvořené z mnohoúhelníkových stěn. Použitím metod z Prog. 9-1 zobrazte obrazec se skrytými plochami odstraněnými kreslením stěn ze zadu dopředu různými barvami.
- 9-4. Modifikujte Prog. 9-1 tak, aby zobrazoval překrývající se kružnice místo pravoúhelníků. Pro každou kružnici uvádějte souřadnice středu, poloměr a hloubku. Setříďte kružnice a kreslete je na stínítko obrazovky, počínaje kružnicí s největší hloubkou. Dolní polovina kružnice má hraniční rovnici  $Y=YC+SQR(R2-(X-XC)^2)$  a rovnice pro horní hranici je  $Y=YC-SQR(R2-(X-XC)^2)$ . Mezi těmito dvěma hranicemi mohou být kresleny vertikální čáry s hodnotou X, měnící se od XC - R do XC + R po jednotkových krocích.
- 9-5. Použijte metod z Prog. 9-2 pro mazání skrytých čar v libovolném zobrazení pevné tyče, jejíž konce jsou šestiúhelníky (Obr. 9-21). Zobrazte všechny úsečky objektu, pak určete, která stěna z každého ze čtyř páru protilehlých stěn je viditelná a vymažte skryté stěny.



Obr. 9-21 Pevný šestíhran.

- 9-6. Použitím metod z Prog. 9-4 vymažte skryté čáry za kruhy. Tento program má zobrazovat libovolný kruh, pak zobrazit specifikovanou úsečku a vymazat libovolnou část úsečky skrytou za kruhem.
- 9-7. Navrhněte na grafickém papíru libovolný třírozměrný objekt, jehož stěny jsou konvexní mnohoúhelníky. Napište program pro zobrazování tohoto objektu a použijte metody z Prog. 9-4 pro mazání skrytých čar. Nakonec použijte rovnice perspektivy (9-1) z libovolné polohy pozorovatele (XV,YV,ZV).
- 9-8. Modifikujte Prog. 9-6 pro zobrazování viditelných stěn třírozměrného objektu, použitím metod z Prog. 9-4 a rovnice (9-2).
- 9-9. Modifikujte Prog. 9-4 pro vstup konkávních mnohoúhelníkových ploch a přímek. Najděte všechny

průsečíky (může jich být více než dva) přímky s plochou a vymažte skryté části.

- 9-10. Definujte stínovací vzor pro účely programu zobrazujícího třírozměrné objekty. Pro libovolný zobrazený objekt stínujte stěny protilehlé určené poloze zdroje světla.
- 9-11. Modifikujte Prog. 9-7 tak, aby vytvářel třírozměrný sloupcový diagram s více jednou částí v každém sloupci. Kreslete různé části každého sloupu jinou barvou.
- 9-12. Pomocí techniky z Prog. 9-8 vynášejte třírozměrnou plochu vytvořenou funkcí  $Y = A \cdot \text{SIN}(X) + B \cdot \text{SIN}(3 \cdot X)$ . Parametry A a B jsou voleny tak, aby se plocha vešla na stínítko obrazovky pro vynášené rozsahy X a Z.

## 8. TŘÍROZMĚRNÉ TRANSFORMACE



Nyní rozšíříme dvorozměrné transformační metody (translace, změna měřítka, rotace) tak, aby obsahovaly i hloubku. Tyto doplněné transformační techniky nám poskytnou větší pružnost v manipulacích jak s trojrozměrnými tak s dvojrozměrnými zobrazeními.

### **8.1. Translace (posun)**

---

Rovnice pro dvojrozměrnou translaci jsou rozšířeny na tři rozměry dovolením změn souřadnic Z. Pokud bude proměnná H představovat velikost horizontálního posuvu bodu, V velikost vertikálního posuvu bodu a D velikost posuvu v hloubce, bude pro posunutou pozici (XT,YT,ZT) bodu o původní poloze (X,Y,Z) platit

$$\begin{aligned} XT &= X + H \\ YT &= Y + V \\ ZT &= Z + D \end{aligned} \tag{10-1}$$

Kladné hodnoty H posouvají bod vpravo po stínítku obrazovky. Kladné hodnoty V posouvají bod dolů po stínítku obrazovky. Kladné hodnoty D posouvají bod dále od nás a záporné hodnoty D posouvají bod blíže k nám. Hodnoty translací H, V a D by neměly být voleny ani tak velké, aby body padaly mimo stínítko obrazovky, ani tak malé, abychom jednoduše opakovaně kreslili tytéž body.

Obrázky a grafy mohou být posouvány nebo animovány v prostoru užitím shodných hodnot translací H, V a D pro všechny body zobrazení. Můžeme použít různé hodnoty H, V a D pro různé body zobrazení, ale pak pokřivíme (zkreslíme) původní tvary zobrazení.

Příklad třírozměrné translace je uveden v Prog. 10-1. Blok je posunut a promítnut na stínítko obrazovky. Tento program vyžaduje uvedení hodnot translací, počítá novou pozici a použije rovnice perspektivy, diskutované v Kapitole 9, ke zobrazení posunutého objektu. Při větších hodnotách D zmenšíme velikost bloku a přesuneme jej blíže k úběžníku. Obrázek 10-1 ukazuje původní a posunutou polohu pro hodnoty H = 60, V = 60 a D = 20.

```
10  'PROGRAM 10-1. TRANSLACE VE 3 DIMENZICH.
20      'DEFINUJE OBJEKT VE 3 DIMENZICH A PRESOUVA JEJ
30          'DO RUZNYCH MIST. OBJEKT JE ZOBRAZEN VZHLEDEM K
40              'POLOZE POZOROVATELE PRED STREDEM STINITKA. SYME-
50                  'TRIE OBJEKTU JE UZITA K URCENI VIDITELNYCH
60                      'STEN.
70  CLS
80  DIM X(8), Y(8), Z(8), XP(8), YP(8), D(8)
90  XM = 319
100 YM = 199
110      ***** NACTENI DAT *****
120 READ N
130 FOR K = 1 TO N
140     READ X(K), Y(K), Z(K)
150     IF X(K)<0 OR X(K)>XM OR Y(K)<0 OR Y(K)>YM THEN 1020
160 NEXT K
170 SCREEN 1
180 FOR K = 1 TO N/2 - 1
190     LINE(X(K),Y(K))-(X(K+1),Y(K+1))
200 NEXT K
210 LINE(X(N/2),Y(N/2))-(X(1),Y(1))
220 XV = 128      'POLOHA POZOROVATELE VE STREDU STINITKA
230 YV = 96
240 ZV = -100
250      ***** TRANSLACE OBJEKTU *****
260 PRINT "UVED VELIKOSTI TRANSLACI H, V, & D"
270 PRINT "UVED 1000,1000,1000 PRO UKONCENI"
280 INPUT H, V, D
290 IF H = 1000 AND V = 1000 AND D = 1000 THEN 1020
300     'VYPOCET NOVYCH BODU
310 FOR K = 1 TO N
```

```

320      XT(K) = X(K) + H
330      YT(K) = Y(K) + V
340      ZT(K) = Z(K) + D
350 NEXT K
360      'URCENI VZDALENOSTI A PREVEDENI BODU DO PERSPEKTIVY
370 FOR K = 1 TO N
380      D(K) = SQR((XT(K) - XV) ^ 2 + (YT(K) - YV) ^ 2 +
      (ZT(K) - ZV) ^ 2)
390      XP(K) = XV + (XT(K) - XV) * -ZV / (ZT(K) - ZV)
400      YP(K) = YV + (YT(K) - YV) * -ZV / (ZT(K) - ZV)
410      IF XP(K)>=0 AND XP(K)<=XM AND YP(K)>=0 AND
      YP(K)<=YM THEN 440
420      PRINT "SOURADNICE MIMO STINITKO. ZADEJ ZNOVU"
430      GOTO 260
440 NEXT K
450 GOSUB 490      'KRESLENI
460 GOTO 260
470 '
480 ##### PODPROGRAM KRESLENI #####
490 CLS
500      ***** PREDNI A ZADNI STENY *****
510 IF D(1) = D(5) THEN 670 'ZADNA STRANA NENI VIDITELNA
520 IF D(1) > D(5) THEN 600
530 IF ZT(1) <= ZV THEN 670 'JE STENA VIDITELNA Z TETO
      POLOHY POZOROVATELE ?
540 FOR K = 1 TO 3      'KRESLENI STENY OBSAHUJICI BOD 1
550      LINE(XP(K),YP(K))-(XP(K+1),YP(K+1))
560 NEXT K
570 LINE(XP(4),YP(4))-(XP(1),YP(1))
580 GOTO 670
590 '
600 IF ZT(5) >= ZV THEN 670 'JE STENA VIDITELNA Z TETO
      POLOHY POZOROVATELE ?
610 FOR K = 5 TO 7      'KRESLENI STENY OBSAHUJICI BOD 5
620      LINE(XP(K),YP(K))-(XP(K+1),YP(K+1))
630 NEXT K
640 LINE(XP(8),YP(8))-(XP(5),YP(5))
650 '
660      ***** POSTRANNI STENY *****
670 IF D(1) = D(4) THEN 830 'ZADNA STRANA NENI VIDITELNA
680 IF D(1) > D(4) THEN 760

```

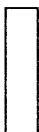
```

690 IF XT(1) >= XV THEN 830  'JE STENA VIDITELNA Z TETO
    POLOHY POZOROVATELE ?
700 LINE(XP(1),YP(1))-(XP(2),YP(2))  'KRESLENI STENY
710 LINE(XP(2),YP(2))-(XP(6),YP(6))  'OBSAHUJICI BOD 1
720 LINE(XP(6),YP(6))-(XP(5),YP(5))
730 LINE(XP(5),YP(5))-(XP(1),YP(1))
740 GOTO 830
750
760 IF XT(4) <= XV THEN 830  'JE STENA VIDITELNA Z TETO
    POLOHY POZOROVATELE ?
770 LINE(XP(4),YP(4))-(XP(3),YP(3))  'KRESLENI STENY
780 LINE(XP(3),YP(3))-(XP(7),YP(7))  'OBSAHUJICI BOD 4
790 LINE(XP(7),YP(7))-(XP(8),YP(8))
800 LINE(XP(8),YP(8))-(XP(4),YP(4))
810
820      ***** KRESLENI HORNÍ A DOLNÍ STENY *****
830 IF D(1) = D(2) THEN 970  'ZADNA STRANA NENI VIDITELNA
840 IF D(1) > D(2) THEN 920
850 IF YT(1) <= YV THEN 970  'JE STENA VIDITELNA Z TETO
    POLOHY POZOROVATELE ?
860 LINE(XP(1),YP(1))-(XP(4),YP(4))  'KRESLENI STENY
870 LINE(XP(4),YP(4))-(XP(8),YP(8))  'OBSAHUJICI BOD 1
880 LINE(XP(8),YP(8))-(XP(5),YP(5))
890 LINE(XP(5),YP(5))-(XP(1),YP(1))
900 GOTO 970
910
920 IF YT(2) >= YV THEN 970
930 LINE(XP(2),YP(2))-(XP(3),YP(3))  'KRESLENI STENY
940 LINE(XP(3),YP(3))-(XP(7),YP(7))  'OBSAHUJICI BOD 2
950 LINE(XP(7),YP(7))-(XP(6),YP(6))
960 LINE(XP(6),YP(6))-(XP(2),YP(2))
970 RETURN
980      ****
990 DATA 8
1000 DATA 138,56,0,138,136,0,118,136,0,118,56,0
1010 DATA 138,56,40,138,136,40,118,136,40,118,56,40
1020 END

```

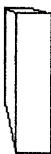
Prog. 10-1 Třírozměrná translace a perspektivní pohledy (blok).

**UVED VELIKOSTI TRANSLACI H, U, & D  
UVED 1000, 1000, 1000 PRO UKONCENI  
? ■**



(a)

**UVED VELIKOSTI TRANSLACI H, U, & D  
UVED 1000, 1000, 1000 PRO UKONCENI  
? ■**



(b)

Obr. 10-1 Výstup programu Prog. 10-1, ukazující (a) původní a (b) posunutý perspektivní pohled na objekt z polohy pozorovatele (128,96,-100).

Zobecnění rovnic pro dvouozměrnou změnu měřítka na třírozměrné je provedeno zavedením zmenšení nebo zvětšení ve směru Z, stejně jako ve směrech X a Y. Jako příklad dvouozměrné změny měřítka volíme pevný bod a vypočítáme nové souřadnice každého bodu zobrazení vzhledem k tomuto pevnému bodu pomocí určených měřítek. Nechť má pevný bod souřadnice  $(XF, YF, ZF)$ . Budeme počítat souřadnice po změně měřítka  $(XS, YS, ZS)$  obecného bodu zobrazení s původními souřadnicemi  $(X, Y, Z)$  podle vztahů

$$\begin{aligned} XS &= X * HS + XF * (1 - HS) \\ YS &= Y * VS + YF * (1 - VS) \\ ZS &= Z * DS + ZF * (1 - DS) \end{aligned} \quad (10-2)$$

kde jsou měřítka pro každý souřadný směr označena jako HS, VS a DS. Každému z těchto měřítek může být přiřazena libovolná hodnota větší než nula. Hodnota větší než 1 způsobí zvětšení, hodnota menší než 1 zmenší velikost objektů.

Měřítkům HS, VS a DS jsou obvykle přiřazeny stejné hodnoty. Takto dojde k jednotnému zvětšení nebo zmenšení objektu ve všech směrech. Pokud chceme natáhnout nebo stlačit objekt různě v různých směrech, můžeme přiřadit různé hodnoty různým souřadnicovým měřítkům. Větší hodnoty měřítek mohou zvětšit objekt nad rozložení stínítka obrazovky. Malé hodnoty měřítek mohou zmenšit objekty do jednoho bodu.

Změny měřítek obrázku pomocí rovnic (10-2) jsou ilustrovány programem Prog. 10-2. Tento program změní měřítka figurky robota na libovolnou určenou velikost

vzhledem k pevnému bodu na robota. Původní poloha robota je v levém dolním rohu stínítka obrazovky, s pohledem přímo na nás. Poloha pozorovatele je pro účely perspektivy volena vpravo nad robotem. Viditelnost stěn robota je určena vzhledem k tomuto bodu a po změně měřítka je kreslen od nohou nahoru, zleva doprava. Obrázek 10-2 ukazuje výstup pro zvětšení i zmenšení v perspektivě při použití stejných měřítek ve všech směrech, aby došlo k jednotné změně ve všech směrech. Vstup programu může být upraven tak, aby umožňoval změny definice obrázku, změny pevného bodu, změny polohy pozorovatele a různé hodnoty měřítek HS, VS a DS.

```

10  'PROGRAM 10-2. ZMENA MERITKA VE 3 DIMENZICH.
20      'DEFINUJE ROBOTA VE 3 DIMENZICH A MENI MERITKO
30      'VZHLEDEM K XF, YF A ZF. POLOHA POZOROVATELE JE
40      'XV, YV A ZV. CASTECNE SYMETRIE ROBOTA JE UZITO
50      'K URCENI VIDITELNYCH STRAN. VNITREK KAZDE
60      'VIDITELNE STENY JE VYMAZAN, CIMZ SE VYMAZOU
70      'I VSECHNY SKRYTE CARY.
80  CLS
90  DIM X(10,4), Y(10,4), Z(10,4), XS(10,4), YS(10,4)
100 DIM XP(10,4), YP(10,4), D(10,4)
110 XM = 319
120 YM = 199      'XM A YM JSOU MAX. HODNOTY X A Y PRO TENTO
                  SYSTEM
130 XF = 80        'MERITKO OBRAZCE JE MENENO VZHLEDEM K XF,
                  YF, ZF.
140 YF = 7
150 ZF = 170
160 XV = 160      'XV, YV, ZV JE POLOHA POZOROVATELE
170 YV = 10
180 ZV = -70
190      ***** NACTENI DAT *****
200 READ NS          'NS JE POSET STEN
210 FOR S = 1 TO NS
220     READ NV(S)    'NV JE POSET VRCHOLU TETO STENY
230     FOR P = 1 TO NV(S)
240         READ X(S,P), Y(S,P), Z(S,P)

```

```

250           IF X(S,P)<0 OR X(S,P)>XM OR Y(S,P)<0 OR
    Y(S,P)>YM THEN 1800
260       NEXT P
270   NEXT S
280   SCREEN 1
290 HS = 1   'UZITI MERITEK 1 PRO POCATECNI ZOBRAZENI
300 VS = 1
310 DS = 1
320 GOTO 380
330   ***** ZMENA MERITKA OBJEKTU *****
340 PRINT "UVED MERITKA H, V, D"
350 PRINT "UVED 0,0,0 PRO UKONCENI"
360 INPUT HS, VS, DS
370 IF HS = 0 AND VS = 0 AND DS = 0 THEN 1800
380   ***** VYPOCET NOVYCH BODU *****
390 FOR S = 1 TO NS
400   FOR P = 1 TO NV(S)
410     XS(S,P) = X(S,P) * HS + XF * (1 - HS)
420    YS(S,P) = Y(S,P) * VS + YF * (1 - VS)
430     ZS(S,P) = Z(S,P) * DS + ZF * (1 - DS)
440     D(S,P) = SQR((XS(S,P) - XV) ^ 2 + (YS(S,P) -
    YV) ^ 2 + (ZS(S,P) - ZV) ^ 2)
450     XP(S,P) = XV + (XS(S,P) - XV) * -ZV / (ZS(S,P)
    - ZV)
460     YP(S,P) = YV + (YS(S,P) - YV) * -ZV / (ZS(S,P)
    - ZV)
470     IF XP(S,P)>=0 AND XP(S,P)<=XM AND YP(S,P)>=0
    AND YP(S,P)<=YM THEN 500
480     PRINT "SOURADNICE MIMO STINITKO. ZADEJ ZNOVU"
490     GOTO 330
500   NEXT P
510 NEXT S
520 GOSUB 540  'KRESLENI FIGURY
530 GOTO 330
540 ##### PODPROGRAM KRESLENI #####
550 CLS
560 FOR S = 1 TO 8 STEP 2 'PODIVAME SE NA KAZDY PAR
    SYMETRICKYCH STEN
570   '
580   ***** PREDNI A ZADNI STENA *****
590   IF D(S,1) = D(S+1,1) THEN 910 'ZADNA NENI VIDITELNA

```

```

600      IF D(S,1) > D(S+1,1) THEN 800
610      IF ZS(S,1) <= ZV THEN 910  'JE STENA VIDITELNA Z
TETO POLOHY POZOROVATELE ?
620      'VYMAZANI VNITRNU PREDNI STENY
630      FOR X = XP(S,1) TO XP(S,4) STEP -1
640          LINE(X,YP(S,1))-(X,YP(S,2)),0
650      NEXT X
660      'KRESLENI OBRYSU PREDNI STENY (STENA S BODEM (S,1))
670      FOR K = 1 TO 3
680          LINE(XP(S,K),YP(S,K))-(XP(S,K+1),YP(S,K+1))
690      NEXT K
700      LINE(XP(S,4),YP(S,4))-(XP(S,1),YP(S,1))
710      IF S <> 7 THEN 910  'JINAK KRESLIT VIDITELNE
720      FOR K = 1 TO 3
730          LINE(XP(9,K),YP(9,K))-(XP(9,K+1),YP(9,K+1))
740
750          LINE(XP(10,K),YP(10,K))-(XP(10,K+1),YP(10,K+1))
760      NEXT K
770      LINE(XP(9,4),YP(9,4))-(XP(9,1),YP(9,1))
780      LINE(XP(10,4),YP(10,4))-(XP(10,1),YP(10,1))
780      GOTO 910
790
800      IF ZS(S+1,1) >= ZV THEN 910  'JE STENA VIDITELNA Z
TETO POLOHY POZOROVATELE ?
810      'VYMAZANI VNITRNU ZADNI STENY
820      FOR X = XP(S+1,1) TO XP(S+1,4) STEP -1
830          LINE(X,YP(S+1,1))-(X,YP(S+1,2)),0
840      NEXT X
850      'KRESLENI OBRYSU ZADNI STENY(STENA S BODEM (S+1,1))
860      FOR K = 1 TO 3
870
880          LINE(XP(S+1,K),YP(S+1,K))-(XP(S+1,K+1),YP(S+1,K+1))
880      NEXT K
890      LINE(XP(S+1,4),YP(S+1,4))-(XP(S+1,1),YP(S+1,1))
900
910      ***** POSTRANNI STENY *****
920      IF D(S,1) = D(S,4) THEN 1290 'ZADNA NENI VIDITELNA
930      IF D(S,1) > D(S,4) THEN 1120
940      IF XS(S,1) >= XV THEN 1290  'JE STENA VIDITELNA Z
TETO POLOHY POZOROVATELE ?
950      'VYMAZANI VNITRNU PRAVE STENY

```

```

960      MT = (YP(S,1) - YP(S+1,1)) / (XP(S,1) - XP(S+1,1))
970      BT = YP(S,1) - (MT * XP(S,1))
980      MB = (YP(S,2) - YP(S+1,2)) / (XP(S,2) - XP(S+1,2))
990      BB = YP(S,2) - (MB * XP(S,2))
1000     FOR X = XP(S,1) TO XP(S+1,1)
1010     YT = MT * X + BT
1020     YB = MB * X + BB
1030     LINE(X,YT)-(X,YB),0
1040     NEXT X
1050     'KRESLENI OBRYSU PRAVE STENY (STENA S BODEM (S,1))
1060     LINE(XP(S,1),YP(S,1))-(XP(S,2),YP(S,2))
1070     LINE(XP(S,2),YP(S,2))-(XP(S+1,2),YP(S+1,2))
1080     LINE(XP(S+1,2),YP(S+1,2))-(XP(S+1,1),YP(S+1,1))
1090     LINE(XP(S+1,1),YP(S+1,1))-(XP(S,1),YP(S,1))
1100     GOTO 1290
1110     '
1120     IF XS(S,4) <= XV THEN 1290 'JE STENA VIDITELNA Z
      TETO POLOHY POZOROVATELE ?
1130     'VYMAZANI VNITRNU LEVE STENY
1140     MT = (YP(S,4) - YP(S+1,4)) / (XP(S,4) - XP(S+1,4))
1150     BT = YP(S,4) - (MT * XP(S,4))
1160     MB = (YP(S,3) - YP(S+1,3)) / (XP(S,3) - XP(S+1,3))
1170     BB = YP(S,3) - (MB * XP(S,3))
1180     FOR X = XP(S,4) TO XP(S+1,4) STEP -1
1190     YT = MT * X + BT
1200     YB = MB * X + BB
1210     LINE(X,YT)-(X,YB),0
1220     NEXT X
1230     'KRESLENI OBRYSU LEVE STENY (STENA S BODEM (S,4))
1240     LINE(XP(S,4),YP(S,4))-(XP(S,3),YP(S,3))
1250     LINE(XP(S,3),YP(S,3))-(XP(S+1,3),YP(S+1,3))
1260     LINE(XP(S+1,3),YP(S+1,3))-(XP(S+1,4),YP(S+1,4))
1270     LINE(XP(S+1,4),YP(S+1,4))-(XP(S,4),YP(S,4))
1280     '
1290     ***** HORNI A DOLNI STENA *****
1300     IF D(S,1) = D(S,2) THEN 1660 'ZADNA NENI VIDITELNA
1310     IF D(S,1) > D(S,2) THEN 1500
1320     IF YS(S,1) <= YV THEN 1660 'JE STENA VIDITELNA Z
      TETO POLOHY POZOROVATELE ?
1330     'VYMAZANI VNITRNU HORNI STENY
1340     ML = (YP(S+1,4)-YP(S,4)) / (XP(S+1,4)-XP(S,4))

```

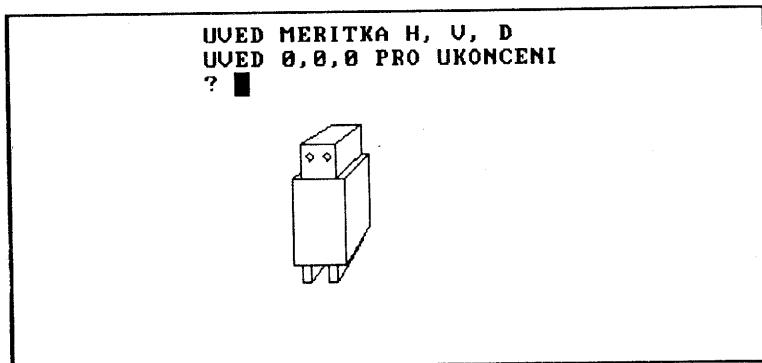
```

1350     BL = YP(S,4) - ML * XP(S,4)
1360     MR = (YP(S+1,1)-YP(S,1)) / (XP(S+1,1)-XP(S,1))
1370     BR = YP(S,1) - MR * XP(S,1)
1380     FOR Y = YP(S+1,4) TO YP(S,4)
1390         XL = (Y - BL) / ML
1400         XR = (Y - BR) / MR
1410         LINE(XL,Y)-(XR,Y),0
1420     NEXT Y
1430     'KRESLENI OBRYSU HORNI STENY (STENA S BODEM (S,1))
1440     LINE(XP(S,1),YP(S,1))-(XP(S,4),YP(S,4))
1450     LINE(XP(S,4),YP(S,4))-(XP(S+1,4),YP(S+1,4))
1460     LINE(XP(S+1,4),YP(S+1,4))-(XP(S+1,1),YP(S+1,1))
1470     LINE(XP(S+1,1),YP(S+1,1))-(XP(S,1),YP(S,1))
1480     GOTO 1660
1490
1500     IF YS(S,2) >= YV THEN 1660  'JE STENA VIDITELNA Z
      TETO POLOHY POZOROVATELE ?
1510     'VYMAZANI VNITRKU DOLNI STENY
1520     ML = (YP(S+1,3)-YP(S,3)) / (XP(S+1,3)-XP(S,3))
1530     BL = YP(S,3) - ML * XP(S,3)
1540     MR = (YP(S+1,2)-YP(S,2)) / (XP(S+1,2)-XP(S,2))
1550     BR = YP(S,2) - MR * XP(S,2)
1560     FOR Y = YP(S+1,3) TO YP(S,3) STEP -1
1570         XL = (Y - BT) / ML
1580         XR = (Y - BR) / MR
1590         LINE(XL,Y)-(XR,Y),0
1600     NEXT Y
1610     'KRESLENI OBRYSU DOLNI STENY (STENA S BODEM (S,2))
1620     LINE(XP(S,2),YP(S,2))-(XP(S,3),YP(S,3))
1630     LINE(XP(S,3),YP(S,3))-(XP(S+1,3),YP(S+1,3))
1640     LINE(XP(S+1,3),YP(S+1,3))-(XP(S+1,2),YP(S+1,2))
1650     LINE(XP(S+1,2),YP(S+1,2))-(XP(S,2),YP(S,2))
1660 NEXT S
1670 RETURN
1680     ****
1690 DATA 10
1700 DATA 4,60,140,0,60,150,0,55,150,0,55,140,0
1710 DATA 4,60,140,15,60,150,15,55,150,15,55,140,15
1720 DATA 4,75,140,0,75,150,0,70,150,0,70,140,0
1730 DATA 4,75,140,15,75,150,15,70,150,15,70,140,15
1740 DATA 4,80,90,0,80,140,0,50,140,0,50,90,0

```

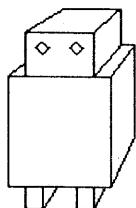
```
1750 DATA 4,80,90,15,80,140,15,50,140,15,50,90,15  
1760 DATA 4,75,70,0,75,90,0,55,90,0,55,70,0  
1770 DATA 4,75,70,15,75,90,15,55,90,15,55,70,15  
1780 DATA 4,70,75,0,72,77,0,70,80,0,68,77,0  
1790 DATA 4,60,75,0,62,77,0,60,80,0,58,77,0  
1800 END
```

Prog. 10-2 Třírozměrná změna měřítka a perspektivní pohledy (robot).



(a)

UUED MERITKA H, U, D  
UUED 0,0,0 PRO UKONCENI  
? ■



(b)

UUED MERITKA H, U, D  
UUED 0,0,0 PRO UKONCENI  
? ■



(c)

Obr. 10-2 Změna měřítka figury o třech rozměrech.

Tento výstup programu Prog. 10-2 ukazuje (a) originál, (b) zvětšený a (c) zmenšený perspektivní pohled. Poloha pozorovatele je na souřadnicích (160,10,-100).

Stejné techniky změny měřítka můžeme použít pro trojrozměrné grafy. V mnoha případech však můžeme vytvořit graf, ukazující vzájemné vztahy mezi třemi a více proměnnými, se všemi souřadnými pozicemi specifikovanými pouze ve dvou dimenzích. V těchto situacích jsou pro uspokojení požadavků zmenšování nebo zvětšování postačující dvourozměrné metody změny měřítka, diskutované v Kapitole 6.

### 8.3. Rotace

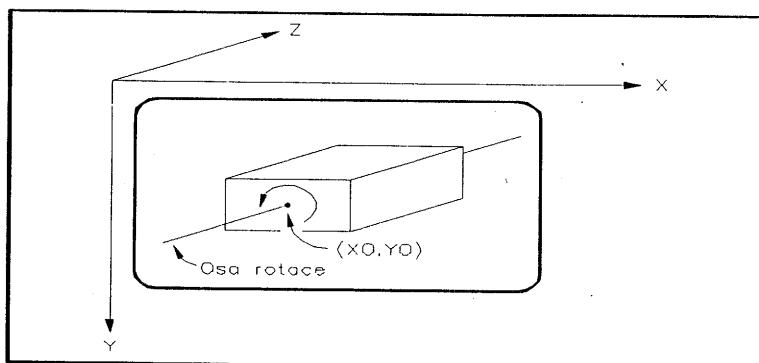
---

Viděli jsme, že objekt může být otáčen o úhel A kolem specifikovaného bodu (XO,YO) v rovině X,Y transformací všech souřadnic X a Y na otočené hodnoty (XR,YR) pomocí výpočtů

$$XR = XO + (X - XO) * \cos(A) + (Y - YO) * \sin(A) \quad (10-3)$$

$$YR = YO + (Y - YO) * \cos(A) + (X - XO) * \sin(A)$$

Úhel A v těchto výpočtech musí být specifikován v radiánech a je měřen ve směru proti otáčení hodinových ručiček od pozice (X,Y) k pozici (XR,YR). Uvažujeme-li třírozměrný objekt, jako je krychle na Obr. 10-3, můžeme nahlížet na tuto rotaci jako by probíhala kolem osy, procházející bodem (XO,YO), která je rovnoběžná s osou Z. Všechny body objektu by rotovaly kolem této osy. Taková rotace by ponechávala všechny souřadnice Z beze změny.



Obr. 10-3 Rotace objektu kolem osy ve směru Z mění souřadnice X a Y, ale souřadnice Z ponechává bezé změny.

Podobně můžeme uvažovat rotace trojrozměrných objektů kolem os v jiných směrech. Obrázek 10-4 ukazuje osu rotace rovnoběžnou s osou Y a procházející bodem (X<sub>O</sub>, Y<sub>O</sub>). Rotace kolem této přímky by měnila všechny souřadnice X a Z krychle na otočené hodnoty X<sub>R</sub> a Z<sub>R</sub>. Hodnoty X<sub>R</sub> a Z<sub>R</sub> můžeme vypočítat ze vztahů

$$X_R = X_O + (X - X_O) * \cos(\alpha) - (Z - Z_O) * \sin(\alpha) \quad (10-4)$$

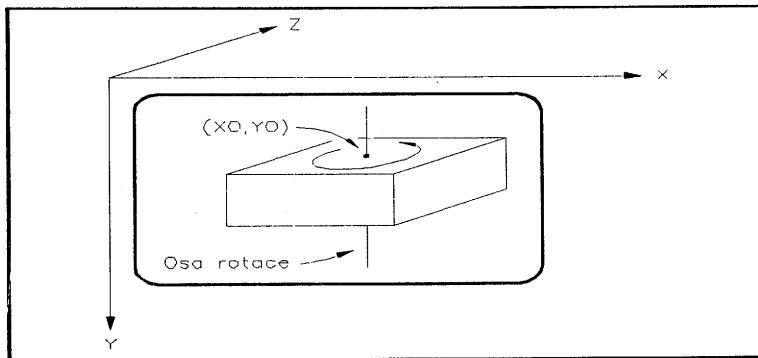
$$Z_R = Z_O + (Z - Z_O) * \cos(\alpha) + (X - X_O) * \sin(\alpha)$$

Tato rotace ponechává hodnoty Y beze změny. Úhel α v těchto rovnicích je měřen ve směru proti otáčení hodinových ručiček a my se díváme dolů na "vršek" krychle. Další možností popisu tohoto směru rotace je představa, že stojíme v počátku souřadného systému a díváme se podél kladné osy Y. Objekt rotuje ve směru proti otáčení hodinových ručiček pro tento směr pozorování. Pokud chceme, aby se objekty

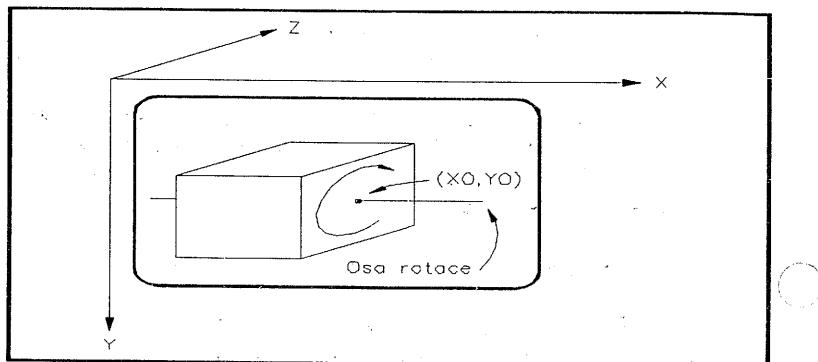
otáčely v opačném směru, použijeme negativní hodnoty v radiánech pro úhel A ve výpočtech (10-4).

Na Obr. 10-5 je znázorněna rotace kolem osy rovnoběžné s osou X. Otáčením krychle kolem této osy, se všechny souřadnice Y a Z mění na souřadnice YR a ZR. Tyto nové souřadnice jsou vypočítány ze vztahů

$$XR = YO + (Y - YO) * \cos(A) + (Z - ZO) * \sin(A) \quad (10-5)$$
$$ZR = ZO + (Z - ZO) * \cos(A) - (Y - YO) * \sin(A)$$



Obr. 10-4 Rotace objektu kolem osy ve směru Y mění souřadnice X a Z, ale souřadnice Y ponechává bez zmeny.



Obr. 10-5 Body objektu rotujícího kolem osy ve směru X mění souřadnice Y a Z, zatímco hodnoty X se nemění.

Hodnoty X pro tuto rotaci se nemění. Pozorujeme-li krychli z její "levé" strany (nebo stojíme-li v počátku a díváme se podél kladné osy X), dostaneme směr rotace proti směru otáčení hodinových ručiček pro úhel A.

Mohli bychom volit mnoho jiných os rotace, ale libovolný jiný typ rotace můžeme vytvořit kombinací diskutovaných tří základních typů. Rotace objektu kolem osy rovnoběžné s osou Z (Obr. 10-3) jednoduše "otáčí" objekt a ukazuje našemu pohledu stále stejnou stranu. Rotace objektu kolem osy rovnoběžné s osou Y (Obr. 10-4) nám poskytuje stranové pohledy na objekt. Rotace kolem osy rovnoběžné s osou X (Obr. 10-5) nám poskytuje pohledy shora a zdola. Pro vytvoření libovolné kombinace pohledů, jako jsou horní a levá strana, můžeme objekt transformovat dvěma anebo více rotacemi. Pořadí, ve kterém jsou rotace prováděny, je velmi důležité. Zámenou pořadí v libovolné dvojici rotací dostaváme odlišný pohled.

Program 10-3 provádí rotaci hrací kostky v libovolné kombinaci tří rotačních transformací. Obrázek 10-6 ukazuje výstup tohoto programu pro rotační úhly kolem každé ze tří os, které jsme diskutovali. V každém z případů byla volena osa, která prochází středem kostky. Na zobrazovaný pohled nebyla použita žádná perspektiva.

```

10 'PROGRAM 10-3. ROTACE VE 3 DIMENZICH. DEFINUJE JEDNU
20   'HRACI KOSTKU VE TRECH DIMENZICH. BODY PRO JEJICH
30   'SEST STEN A VSECHNY TECKY JSOU ULOZENY V XR,YR,
40   'ZR. KOSTKA MUZE BYT OTACENA O LIBOVOLNY POCET
50   'STUPNU KOLEM LIBOVOLNE OSY. SYMETRIE TELESA JE
60   'UZITO K URCENI VIDITELNYCH STEN.
70   ****
80 CLS
90 DIM XR(29), YR(29), ZR(29)
100 XM = 319
110 YM = 199
120 READ XO, YO, ZO    'ROTOVAT KOLEM TOHOTO BODU
130 FOR K = 1 TO 29
140   READ XR(K), YR(K), ZR(K)
150   IF XR(K)<0 OR XR(K)>XM OR YR(K)<0 OR YR(K)>YM THEN
1150
160 NEXT K
170 SCREEN 1
180 GOSUB 510
190 LOCATE 1,1
200 PRINT "UVED Q PRO UKONCENI"
210 PRINT "ROTOVAT KOLEM KTERE OSY";
220 INPUT R$
230 IF R$ = "Q" THEN 1150
240 PRINT "KOLIK STUPNU";
250 INPUT A
260 A = A * 3.14159 / 180  'PREVOD STUPNU NA RADIANY
270   **** VYPOCET NOVYCH BODU ****
280 IF R$ = "X" THEN 310
290 IF R$ = "Y" THEN 370
300 IF R$ = "Z" THEN 430
310 FOR K = 1 TO 29    'KOLEM OSY X
320   YS = YR(K)  'UCHOVAT YR(K) PRO VYPOCET ZR

```

```

330      YR(K) = INT(YO + (YR(K) - YO) * COS(A) + (ZR(K) -
            ZO) * SIN(A) + .5)
340      ZR(K) = INT(ZO + (ZR(K) - ZO) * COS(A) - (YS - YO)
            * SIN(A) + .5)
350 NEXT K
360 GOTO 480
370 FOR K = 1 TO 29    'KOLEM OSY Y
380      XS = XR(K)    'UCHOVAT XR(K) PRO VYPOCET ZR
390      XR(K) = INT(XO + (XR(K) - XO) * COS(A) - (ZR(K) -
            ZO) * SIN(A) + .5)
400      ZR(K) = INT(ZO + (ZR(K) - ZO) * COS(A) + (XS - XO)
            * SIN(A) + .5)
410 NEXT K
420 GOTO 480
430 FOR K = 1 TO 29    'KOLEM OSY Z
440      XS = XR(K)    'UCHOVAT XR(K) PRO VYPOCET YR
450      XR(K) = INT(XO + (XR(K) - XO) * COS(A) + (YR(K) -
            YO) * SIN(A) + .5)
460      YR(K) = INT(YO + (YR(K) - YO) * COS(A) - (XS - XO)
            * SIN(A) + .5)
470 NEXT K
480 GOSUB 500
490 GOTO 190
500      ***** KRESLIT POUZE VIDITELNE STENY *****
510 CLS
520 IF ZR(1) = ZR(5) THEN 680  'ZADNA STRANA NENI VIDITELNA
530 IF ZR(1) > ZR(5) THEN 610
540 FOR K = 1 TO 3          'KRESLENI STENY OBSAHUJICI 1 TECKU
550      LINE(XR(K),YR(K))-(XR(K+1),YR(K+1))
560 NEXT K
570 LINE(XR(4),YR(4))-(XR(1),YR(1))
580 CIRCLE(XR(9),YR(9)),1
590 GOTO 680
600 '
610 FOR K = 5 TO 7          'KRESLENI STENY OBSAHUJICI 6 TECEK
620      LINE(XR(K),YR(K))-(XR(K+1),YR(K+1))
630 NEXT K
640 LINE(XR(8),YR(8))-(XR(5),YR(5))
650 FOR K = 24 TO 29
660      CIRCLE(XR(K),YR(K)),1
670 NEXT K

```

```

680 IF ZR(1) = ZR(4) THEN 860 'ZADNA STRANA NENI VIDITELNA
690 IF ZR(1) > ZR(4) THEN 790
700 LINE(XR(1),YR(1))-(XR(2),YR(2)) 'KRESLENI STENY
710 LINE(XR(2),YR(2))-(XR(6),YR(6)) 'OBSAHUJICI
720 LINE(XR(6),YR(6))-(XR(5),YR(5)) '4 TECKY
730 LINE(XR(5),YR(5))-(XR(1),YR(1))
740 FOR K = 15 TO 18
750     CIRCLE(XR(K),YR(K)),1
760 NEXT K
770 GOTO 860
780
790 LINE(XR(4),YR(4))-(XR(3),YR(3)) 'KRESLENI STENY
800 LINE(XR(3),YR(3))-(XR(7),YR(7)) 'OBSAHUJICI
810 LINE(XR(7),YR(7))-(XR(8),YR(8)) '3 TECKY
820 LINE(XR(8),YR(8))-(XR(4),YR(4))
830 FOR K = 12 TO 14
840     CIRCLE(XR(K),YR(K)),1
850 NEXT K
860 IF ZR(1) = ZR(2) THEN 1040 'ZADNA STRANA NENI VIDITELNA
870 IF ZR(1) > ZR(2) THEN 970
880 LINE(XR(1),YR(1))-(XR(4),YR(4)) 'KRESLENI STENY
890 LINE(XR(4),YR(4))-(XR(8),YR(8)) 'OBSAHUJICI
900 LINE(XR(8),YR(8))-(XR(5),YR(5)) '2 TECKY
910 LINE(XR(5),YR(5))-(XR(1),YR(1))
920 FOR K = 10 TO 11
930     CIRCLE(XR(K),YR(K)),1
940 NEXT K
950 GOTO 1040
960
970 LINE(XR(2),YR(2))-(XR(3),YR(3)) 'KRESLENI STENY
980 LINE(XR(3),YR(3))-(XR(7),YR(7)) 'OBSAHUJICI
990 LINE(XR(7),YR(7))-(XR(6),YR(6)) '5 TECEK
1000 LINE(XR(6),YR(6))-(XR(2),YR(2))
1010 FOR K = 19 TO 23
1020     CIRCLE(XR(K),YR(K)),1
1030 NEXT K
1040 RETURN
1050 *****

1060 DATA 140,80,124
1070 DATA 164,56,100,164,104,100,116,104,100,116,56,100
1080 DATA 164,56,148,164,104,148,116,104,148,116,56,148

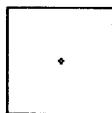
```

```
1090 DATA 140,80,100  
1100 DATA 128,56,136,152,56,112  
1110 DATA 116,68,136,116,80,124,116,92,112  
1120 DATA 164,68,112,164,68,136,164,92,112,164,92,136  
1130 DATA 128,104,112,128,104,136,140,104,124,152,104,112  
1140 DATA 152,104,136,128,68,148,140,68,148,152,68,148,128  
1145 DATA 92,148,140,92,148,152,92,148  
1150 END
```

Prog. 10-3 Trojrozměrné rotace (kostka).



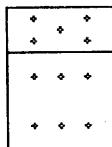
UVED Q PRO UKONCENI  
ROTOUAT KOLEM KTERE OSY? ■



(a)

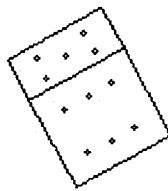


UVED Q PRO UKONCENI  
ROTOUAT KOLEM KTERE OSY? ■



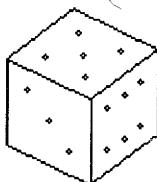
(b)

UVED Q PRO UKONCENI  
ROTOUAT KOLEM KTERE OSY? ■



(c)

**UVED Q PRO UKONCENI  
ROTOUAT KOLEM KTERE OSY? ■**



(c)

Obr. 10-6 Pohledy na natáčený trojrozměrný objekt (Prog. 10-3): (a) původní pohled, (b) natočení kolem osy X o 155 stupňů, (c) natočení kolem osy Z o 28 stupňů, (d) natočení kolem osy Y o 45 stupňů.

#### **8.4. Kombinované transformace**

Programy pro všechny možné transformace bychom mohli shromáždit do jedné sady obecných podprogramů. Tento obecný program by mohl být usporádán tak, že by vstupní obrazec byl zobrazen a transformován libovolnou kombinací translace, změny měřítka, rotace a perspektivního pohledu. Je možné použít interaktivní výběr transformací, které mají být použity, s možností volby ukončení programu. Podprogram pro skryté čáry (nebo plochy) může být použit pro zobrazování pouze viditelných stran objektu po natočení nebo perspektivní transformaci

## Projekty programování

- 10-1. Animujte objekt ve třech dimenzích. Bude posouván dopředu a dozadu po stínítku obrazovky s alternativními kladnými a zápornými inkrementy pro směry X a Z. Nejprve jej přesunujte zleva doprava při současném zvětšování souřadnice Z. Dosáhne-li pravého okraje stínítka, reverzujte přírůstek X při zachování konstantních souřadnic Y a Z. Vrátí-li se na levý okraj stínítka, reverzujte přírůstek X a začněte inkrementovat souřadnici Z v záporném směru. Opakování tohoto pohybu v perspektivě přesouvá objekt podél osmičky v rovině X, Z.
- 10-2. Modifikujte program z Prob. 10-1 pro animaci objektu podél libovolné třírozměrné křivky.
- 10-3. Animujte objekt ve třech dimenzích podél přímočaré dráhy, procházející "za" pravoúhelníkovou stěnou nakreslenou na stínítku obrazovky. Nezobrazujte objekt je-li za stěnou. Tento program může být zobecněn tak, aby obsahoval několik "stěn" různých tvarů.
- 10-4. Napište program pro změnu měřítka libovolného dvojrozměrného nebo trojrozměrného objektu zvětšováním jeho polohové souřadnice Z a použitím rovnic perspektivy.
- 10-5. Sestavte program pro změnu měřítka trojrozměrného objektu v libovolném směru. To je uskutečněno otáčením objektu do libovolné specifikované polohy a pak změnou měřítka ve směrech X, Y a Z.
- 10-6. Napište program, zobrazující slova psaná velkými písmeny, které zmenšují svou velikost s rostoucí vzdáleností. Provádějte rotaci slova kolem vertikální osy (rovnoběžné s osou Y), procházející levým okrajem slova s použitím rovnic

perspektivy. Toto slovo může pak být posouváno (a měněno měřítko) na libovolné místo stínítka obrazovky.

- 10-7. Napište program pro zobrazování globu tvořeného rotující kružnicí. Otáčení kružnice po třech třicetistupňových krocích kolem průměru rovnoběžného s osou Y vytváří kulový tvar s poledníkovými čarami. Použitím menších rotačních úhlových kroků, z původní polohy do 90 stupňů, vytváří větší počet poledníkových čar. Rovnoběžky (zeměpisná šířka) jsou kresleny horizontálně mezi hranicemi původní polohy kružnice.
- 10-8. Opakujte metodu z Prob. 10-7 pro vytvoření válce rotací pravoúhelníka kolem vertikální osy, pak kolem horizontální osy, aby se ukazoval vršek nebo spodek. Vymažte skryté čáry.
- 10-9. Napište program pro zobrazování rotačního tělesa tvořeného úsečkou. Nakreslete úhlopříčku s různými hodnotami souřadnice Z obou konců. Pak otáčejte úsečkou kolem vertikální osy (rovnoběžné s osou X) a procházející středem úsečky. Otáčení kolem horizontální osy, procházející středem úsečky, pak zobrazuje těleso tvaru přesýpacích hodin. Metoda skrytých čar může být použita k vytvoření realistického pevného tělesa.
- 10-10. Sestavte program pro zobrazování rotačního tělesa tvořeného parabolou. Zobrazovaná parabola může nejprve rotovat kolem vertikální přímky (rovnoběžné s osou Y), procházející jejím středem, po malých úhlových krocích z původní polohy do 180 stupňů. Otáčení kolem horizontální přímky (rovnoběžné s osou X), která prochází parabolou, bude zobrazovat konkávní vnitřek. Přitom mohou být kresleny úsečky spojující koncové body rotující paraboly, což dodá tělesu vzhled poháru.

- 10-11. Sestavte uprostřed stínítka obrazovky třírozměrný sloupcový diagram a použijte rotaci, translaci a perspektivu k jeho umístění do libovolného jiného místa stínítka obrazovky v libovolné orientaci.
- 10-12. Odvod'te program pro obecné trojrozměrné transformace, který kombinuje různé transformace, perspektivní rovnice a metodu skryté čáry (nebo plochy), každou psánu jako zvláštní podprogram. Pro libovolný objekt, vložený do tohoto programu, budou voleny nějaké transformace a objekt bude pak zobrazen perspektivně s vymazanými skrytými čarami. Transformace mají být voleny opakovaně, dokud není uveden ukončovací vstup (jako je napsání slova "STOP").
- 10-13. Sestavte program, popsaný v Prob. 10-12, tak, aby byl písmenový kód tisknut dole (nebo nahoře, nebo na straně) stínítka obrazovky. Tento písmenový kód, vkládaný z klávesnice, bude určovat dílčí volbu včetně ukončení. Jako alternativa výběru z klávesnice, může být použito pro volbu možností světelné pero dotykem příslušných oblastí stínítka obrazovky.