

45 Program HYPER3D, ver. 09.60 03-01-44 *
46 *
47 *
48 *

Lokalizace v 3-dimensionálním biologovém prostoru

Etapová zpráva

Otíží úkol : Rozvoj programového vybavení centrály DSR
Úkol č. : GFB 1697

Vedoucí dílčího úkolu : RNDr. Petr Fibčák, CSc.
Řešitel : Ing. Milan Merl

RNDr. K. Čidlinský, CSc.
Pedagogická fakulta UK

(c) Geofyzika Brno, Ječná 29a, 612 46 Brno
Brno, listopad 1988

Historie vzniku	KAPITOLA 1

01. 00 86-09-29 původní verze
02. 00 87-04-05 nejmenší čtverce s tlumením
02. 01 87-01-10 krokování hlinouky
03. 00 87-01-26 segmentace, připojeny některé podprogramy pro prokládání splajnů
04. 00 87-04-29 modifikovaný algoritmus pro přímou volbu už žádné problém s rozhraními
05. 00 87-02-16 chybavá analýza
05. 01 87-02-23 hledání příslušného modelu prostředí
05. 02 87-03-02 nový podprogram real8_to_int
05. 03 87-03-05 určení ref. času
06. 00 87-03-10 umožnění runstringových parametrů, soubory @.LOC, @.HYP3
06. 01 87-04-09 oprava chyb při vážení
07. 00 87-04-24 zavedeny stanovení korekce
07. 01 87-05-06 vypočet magnetuda pomocí hypocentropáni vzdálenosti nový výstupní formát (hypot., epivzdálenost, frekvence, amplitudy)
07. 02 87-05-15 nové podprogramy SEARCH, DIREX
07. 03 87-05-20 nové segmenty, zefektivnění výstupního formátu podprogram direx rozšířen a přejmenován

na filek

- 07.04 87-05-26 nový segment elf (create_locfile) s podprogram
create_loc_file, trdr ... počítá a zapisuje
časy přechodů do jednotlivých řádcic pro
každou z-tovou komponentu stanice v ksvitio
- 07.05 87-05-29 nové segmenty: comet, opcl, rbc, seq_load,
sv, dial1, dial2, iter
- nový podprogram: spline_in
- 07.06 87-06-04 nový segment dial3
- 08.00 87-06-18 nový segment: výpočet rusk na dané síti
- 08.01 87-07-01 nový segment: výpočet rusk na kouli kolem
hypocentra
opraveny chyby ve výstupním formátu
- 08.02 87-10-03 nové rustring. par.: last event, noninteract,
mode, fixed depth,
value of fixed depth
- nový segment: show_matrix ... zobrazí matici
rozlišení
- modifikace modulu: decode_run_string,
inp, hypo, dialog_4, cov_matrix
- opravena chyba v modulu: rt_3d
- 08.03 87-11-13 nový modul: ampl ... amplitudové kontroly
lokace
- modifikované moduly: output, cov_matrix,
hypo ... chybavé analýzy se
provádí jen pro netlumené řešení
- 09.00 88-01-14 nová segmentace

Storučný popis programu

KAPITOLA 2

HYPOND je program pro výpočet zdrojů seismického rozruhu v 3-rozměrném prostředí. Model prostředí je zadán rychlostmi v jednotlivých blicích a shora je omezen obecnou 3-rozměrnou plochou - povrchem, přijímače mohou být na povrchu nebo v dekeliu uvnitř modelu. Heszení mohou mít různé vahy, určující jejich vliv při výpočtu.

Pro výpočet času průchodu ve složitém 3-rozměrném prostředí je použito linearizačního přístupu. Problém naložení souřadnic zdroje rozruhu je řešen metodou nejménších čtverců s tlumením kdepsilon least squares metoda).

Program umožňuje běh v interaktivním i neinteraktivním režimu, výpočet sumy čtverců reziduí v dané časoprostorové oblasti, standardní chyby řešení, chyby řešení, elipsy, ekvivalent Richterova magnituda pro Mood-Andersonův typ seismometru pro jednotlivé stanice a další údaje.

Program vytváří soubor určený pro databázi lokalizovaných událostí a soubor vypočtených časů příchozů vln pro vizualizační program GRAF.

Teoretické podklady	KAPITOLA 3
---------------------	------------

3.1 Model

Výpočet časů průchodu v obecném 3-rozměrném prostoru je poměrně složitý a časově náročný problém. V blokovém 3-rozměrném prostředí můžeme použít velmi rychlého způsobu výpočtu, založeného na linearizačním principu.

3.1.1 3D-model

3D-model je blokový. Jednotlivé bloky jsou ohrazeny rovinatými plochami. Model se zadává dělením os x , y , z (v každém směru může být dělení nepravidelné a rezavislné na ostatních směrech) a hodnotami rychlosti v jednotlivých blocích. Pořadnější popis zadání modelu je v příloze 1.

Bloková struktura vznikne proložením rovin kolmo k ose x resp. y resp. z v bodech dělení osy x resp. y resp. z . Krajní bloky jsou v jednom směru neohrazené.

Zhora je model omezen povrchem, který je definován v soustředném souboru zadáním elevaci v jednotlivých bodech síťě x , y , z . Hodnota elevace povrhu v libovolném místě se vypočítává splajnovou interpolací.

Definujme "pomalost" n anglický termín: slowness) jako převáženou hodnotu rychlosti v:

$$n(x,y,z) = 1/v(x,y,z)$$

Během výpočtu používáme v některých krocích 1D rychlostní modely. Tyto odvozujeme následujícím způsobem.

Z blokového modelu vytvoříme zpravidla členěný 1-rozměrný model tvořený vrstvami s rovinou rozhraními. 1D-model je definován počtem vrstev, hodnotami vrcholu vrstvy a rychlostí v vrstvách, polohou jednotlivé stanice a polohou ohniska hypocentra.

Pro každou konfiguraci (stanice,zdroj) vypočteme zprůměrování vrstvenatého modelu s modifikovaným vrcholem první vrstvy zvoleným tak, že prochází výše položeným bodem z dvojice (stanice,zdroj).

Jeli zdroj výše než stanice, změní se formálně před vlastním výpočtem modelu zdroj a stanice. Výpočet modelu a paprsku se pak provádí při této záměně, derivace času průchodu se však počítají v bodě původního zdroje.

Vrchol další vrstvy tvorí zdola nejtěžší povina kolmá k ose x (definovaná v 3D-modelu).

Pomalost v i-té vrstvě určitého 1D zprůměrovávaného modelu se určí takto: na vrcholu i-té vrstvy sestojí spojnice bodů A,B (bod A má souřadnice x, y stejné jako stanice, bod B jako zdroj). Výsledná pomalost v i-té vrstvě je pak (pro přehlednost je vypuštěn index i)

$$n = 1/S \sum_j m_j s_j$$

kde sčítáme přes bloky zasažené spojnicí bodů A,B

n pomalost v průměrování vrstvy
m_i pomalost v j-tém bloku
S délka spojnice bodů A,B krát tloušťka vrstvy
s_i délka části spojnice bodů A,B ležící v j-tém bloku
krát tloušťka vrstvy

Každý 1D model se tedy sestádá z vodorovných vrstev s konstantní rychlosťí. Každá vrstva musí mít větší rychlosť než vrstva nad ní. V případě, že po zprůměrování není spinén předchozí posledavek, slouží ji se sousední vrstvou tak dlouho dokud není posledník spinen. Vrstva, která má větší rychlosť než následující menší vrstva se s ní slouží, znova se testuje usporádání rychlostí atd.). Služování vrstev se dělá tak, že vrchol vyšší vrstvy tvoří vrchol vrstvy vrstvě níže situovaném a tloušťka této nové vrstvy je rovna součtu tloušťek služovaných vrstev. Pomalost v nové vrstvě se určí podle vzorce

$$n = \frac{1}{\Delta s} \sum_{j=1}^n n_j \Delta s_j$$

kde n_j je sestáme přes bloky, které byly zasaženy při průměrování k následné služování vrstvy

- n) Pomalost v průměrovane vrstve
- o) Pomalost v j-tém bloku
- s) Δs_j jsou všechny stejněho významu jako v předchozím vzorci získané při průměrování k následné služování vrstev

3.2 Výpočet času průchodu a derivaci

V zprůměrovém 1D-modelu najdeme dráhy paprsku ze zdroje do stanice (viz odstavec Vlny v 1-dimenzionálném modelu) a dle počítání opravy v 3D-modelu integraci podél známé dráhy. Což je umozněno platnosti linearizačního principu.

3.2.4 Linearizační princip

Čas průchodu seismického signálu mezi zdrojem Z a stanici S je dán výrazem

$$t(z, s) = \int n(x, y, z) ds$$

$t(z,s)$

reprézová prostoroví charakterizovaném posllostí

$n(x,y,z)$

$d\bar{s}$ element podél paprsku $\Gamma(z,s)$

Tvar paprsku je dán Fermatovým principem, který říká, že pro paprsek $\Gamma(z,s)$ je čas $t(z,s)$ extremální

$$\int t = \delta \int n \, ds = 0$$

Předpokládejme my, že máme $n^{(o)}$ popisující model $M^{(o)}$ a že máme $t^{(o)}(z,s)$ a čas průchodu $t^{(o)}(z,s)$.

Tedy

$$t^{(o)}(z,s) = \int_{L^{(o)}} n^{(o)} \, ds^{(o)}$$

$$\int t^{(o)}(z,s) = \delta \int_{L^{(o)}} n^{(o)} \, ds^{(o)} = 0$$

Vztah pro $t^{(o)}(z,s)$ je nelineární vzhledem k n , poněvadž na n závisí i tvor integrace dráhy.

Nechte

$$n = n^{(o)} + n^{(i)}$$

přičemž

$$|n^{(i)}| \ll |n^{(o)}|$$

pak platí

$$t(z,s) = t^{(o)}(z,s) + t^{(i)}(z,s) + \epsilon(z,s)$$

kde

$$t^{(4)}(z,s) = \int n^{(4)} ds$$

$$_1^{(6)}(z,s)$$

a

$$\epsilon(z,s) = a t^{(4)}(z,s)^2$$

je veličina malé druhého řádu vzhledem k $t^{(4)}(z,s)$.

Zanedbáním $\epsilon(z,s)$ vzhledem k $t^{(4)}(z,s)$, platí

$$t(z,s) = t^{(6)}(z,s) + t^{(4)}(z,s)$$

Opravu času průchodu získáme integrací podél již známého paprsku $1^{(6)}(z,s)$ a máme tedy lineární vztah vzhledem k $t^{(4)}$

Pro nehomogenní izotropní prostředí prokázal linearizační princip (Romanov, 1972), jeho platnost i v nehomogeném anizotropním prostředí s rozšířením byla dokázána v (Firbas, 1984).

3.2.2 Viny v 1-rozměrném modelu

Uvedeme postup při výpočtu paprsků v 1D-modelu, který byl popsán v odstavci 1D-model.

Program hledá viny, které jsou prvním příchodem do dané stanice. Rozeznává dva druhy vin: vlnu refragovanou a vinu přímou. V případě, že v daném místě mohou být zaznamenány oba typy vin a není předem jasné, která vlna je prvním násazením (viz samostatný odstavec), vypočetou se časy průchodu přímé viny a všech možných refragovaných vin a výber se vlna s nejmenší dobou průchodu.

Vycházíme z platnosti Snellova zákona:

$$\sin \langle \theta_i \rangle / \sin \langle \theta_j \rangle = v_i / v_j$$

kde θ_i je úhel dopadu vlny ve vrstvě s rychlosťí v_i
 θ_j je úhel lomu vlny do vrstvy s rychlosťí v_j

Zavádíme Θ_{ij} ... úhel dopadu na dno vrstvy s rychlosťí
 v_i pro kritický lom na vrcholu vrstvy
s rychlosťí v_j , $i < j$
R ... epacentrální vzdálenost stanice.

Pak platí

$$\sin \langle \theta_{ij} \rangle = v_i / v_j$$

$$\cos \langle \theta_{ij} \rangle = (v_j^2 - v_i^2)^{1/2} / v_j$$

$$\tan \langle \theta_{ij} \rangle = v_k^2 / (v_i^2 - v_j^2)^{1/2}$$

Běle zavádime pojem kritická vzdálenost pro danou vrstvu:
minimální epacentrální vzdálenost stanice při níž lze na stanici
zaznamenat refragovanou vlnu lomenou podél vrcholu dáné vrstvy.

Čas průchodu vlny kriticky lomené na vrcholu vrstvy
k stanice i zdroj na povrchu:

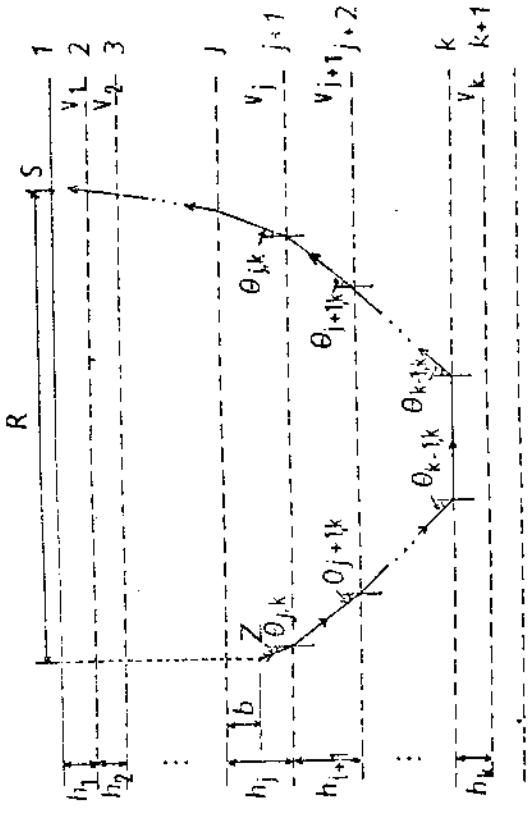
$$\tau_k = \mathcal{R} / v_k + 2 \cdot \sum_{i=1}^{k-1} h_i (v_k^2 - v_i^2)^{1/2} / (v_i v_k)$$

a odpovídající kritická vzdálenost:

$$C_k = 2 \cdot \sum_{i=1}^{k-1} h_i v_i / (v_k^2 - v_i^2)^{1/2}$$

Zobecnění pro zdroj o obecných souřadnicích (x_2, y_2, z_2) . Nechť
je zdroj v j -té vrstvě v hloubce b pod vrcholem vrstvy. Viz

obrázek 4.



obr. 4

Pak předchozí vzorce mají tvar:

$$T_{jk} = \tau/v_k - b \cdot A_{kj} / (v_j \cdot v_k) + \sum_{i=1}^{j-1} h_i A_{ki} / (v_i \cdot v_k) + \\ + 2 \cdot \sum_{i=j}^{k-1} h_i A_{ki} / (v_i \cdot v_k) \\ C_{jk} = - b \cdot v_j / A_{kj} + \sum_{i=1}^{j-1} h_i v_i / A_{ki} + \\ + 2 \cdot \sum_{i=j}^{k-1} h_i v_i / A_{ki}$$

kde $\tau = z_2 - (h_1 + h_2 + \dots + h_{j-1})$
 $h_i \dots$ tloušťka i-té vrstvy
 $A_{kj} = (v_k^2 - v_j^2)/2$

Příprava vína v první výrobu

V tomto případě se vlastně jedná o vinnu v homogenním prostředí, výraz pro čas šíření je jednoduchý, pro zdroj o souřadnicích (X_2, Y_2, Z_2) , přijímač o souřadnicích (X_f, Y_f, Z_f) a rychlosť prostředí v :

$$T = \epsilon (X_2 - X_f)^2 + (Y_2 - Y_f)^2 + (Z_2 - Z_f)^2 / v_A$$

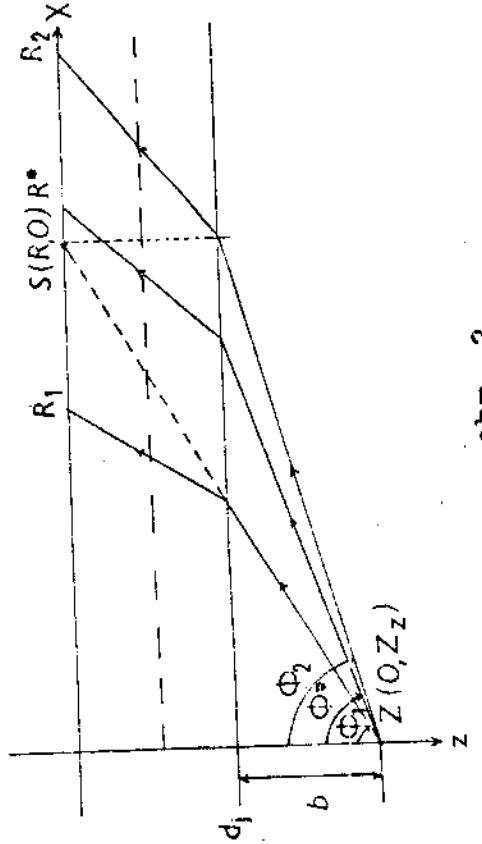
Přímá vlna, zdroj pod první vrstvou

Pro tento případ neexistuje explicitní vztah pro výpočet času průchodu. Použijeme metodu "zastřelenování" (shooting).

Zvolme současný systém tak, že osa z prochází zdrojem 2, osa x stanicí S. Souřadnice bodu Z pak jsou $(0, z_z)$, bodu S $(R, 0)$. Nechť bod Z je v j-té vrstvě,

$$b = z_z - (h_1 + h_2 + \dots + h_{j-1}),$$

označme ϕ úhly mezi záporným směrem osy z a přímou spojující bod Z s jednotlivými body na vrcholu j-té vrstvy. Nejprve nalezneme spodní a horní mezery pro úhly ϕ . Spojime-li body Z a S přímkou, pak ze Snellova zákona a vzrůstu rychlosti s hloubkou vrstev plyne, že vlna vycházející z bodu Z pod odpovídajícím úhlem ϕ_1 dopadne na povrch ve vzdálenosti R_1 menší než R. Příslušný úhel ϕ_1 představuje dolnímez. Hornímez nalezneme spojením bodu Z s bodem ležícím na vrcholu j-té vrstvy přímo pod bodem S. Opět ze Snellova zákona a vzrůstu rychlosti s hloubkou vrstev plyne, že vlna vycházející z bodu Z pod tímto úhlem, dopadne na povrch ve vzdálenosti větší než R. Příslušný úhel ϕ_2 je hornímez. Uvedená konstrukce je ilustrována obrázkem 2.



obr. 2

Dále pokračujeme metodou půlení intervalu:

1. zvolíme ϕ^* v polovině intervalu (ϕ_1, ϕ_2)
2. vypočteme R^*
3. je-li $|R^*| > R$, pak $(\phi_2 = \phi^*)$
4. je-li $|R^*| < R$, pak $(\phi_1 = \phi^*)$
5. je-li $|R^* - R| < \xi$, pak stop

Iterační proces ukončíme, dosáhne-li pořadovná přesnosti ξ .

Máximální vzdálenost, na níž může být přímá vlna prvním nasazením

Výpočet přímé vlny je často v náročnější než výpočet vlny refragovaných, proto je vhodné nejdříve zjistit, zda vzdálenost R je taková, aby přímá vlna mohla být prvním nasazením.

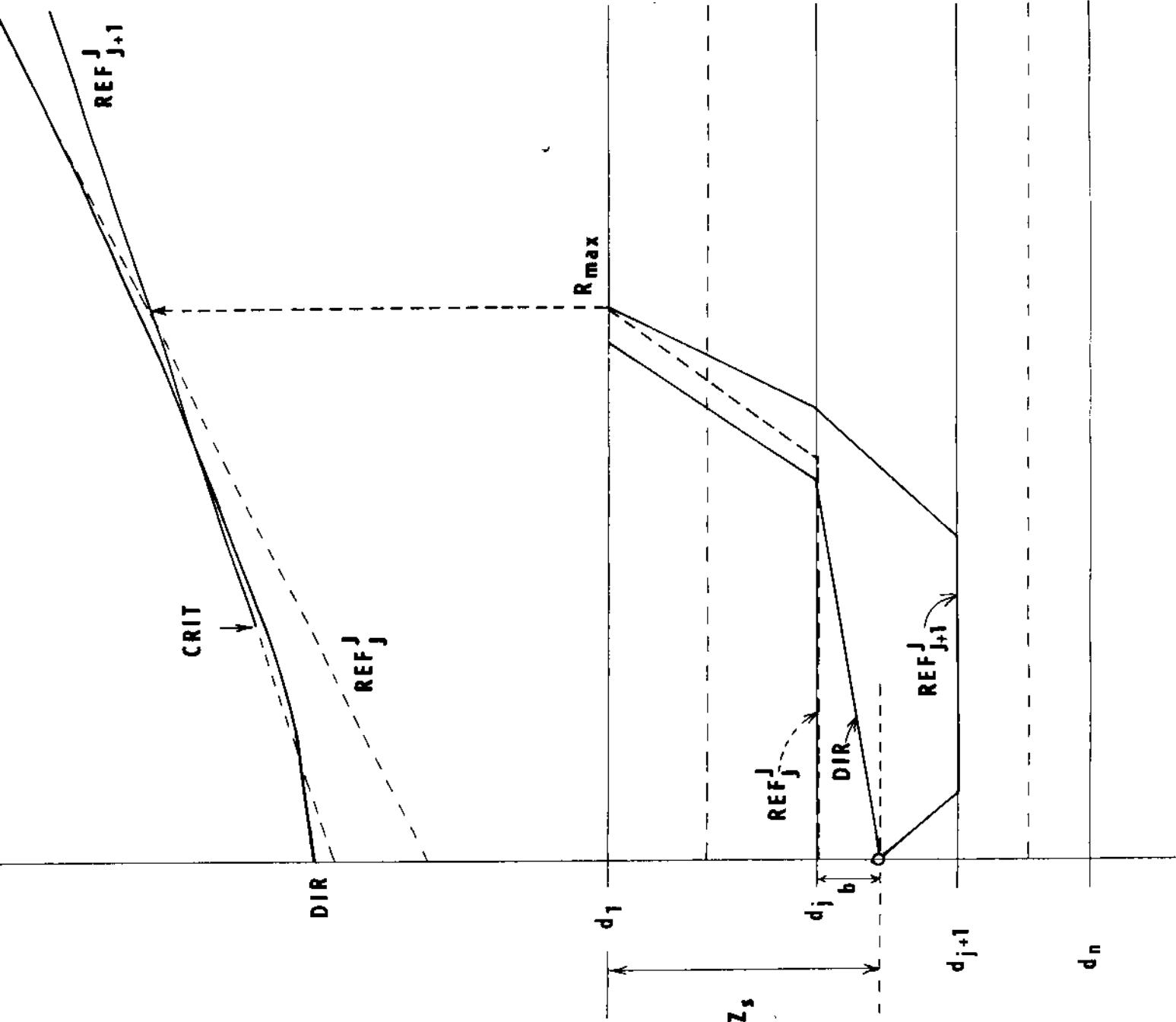
Předpokládejme zdroj v bloubce b pod vrcholem j-té vrstvy. Hodochrona přímé vlny se s vzdáleností R asymptoticky blíží hodochronu vlny generované zdrojem ležícím přímo na vrcholu j-té vrstvy podél vrcholu j-té vrstvy. Refrakování vlna je ale vždy rychlejší.

Kritická vzdálenost pro vlnu refragovanou vrcholem vrstvy $k+1$ ($k+1>j$) je dána vzdáleností, do které přijde vlna při kritickém ohrazenu vrcholu vrstvy $k+1$. Protože vlna kriticky odražená na vrcholu vrstvy $k+1$ musí být vždy pomalejší než přímá vlna ($j=k$) nebo vlna refragovaná vrcholem vrstvy k , musí do kritické vzdálenosti přijít vlna kriticky odražená vrcholem vrstvy $k+1$ později než vlna přímá ($k=j$) resp. vlna refragovaná vrcholem vrstvy k .

Nechť se hodochrony vlny refragované podél vrcholu j-té vrstvy ze zdroje ležícího na vrcholu $j+1$ -ní vrstvy a vlny refragované podél vrcholu j-tí vrstvy protínají se vzdálenosti R pod vrcholem j-té vrstvy.

Kritická vzdálenost vlny refragované v některé vrstvě pod zdrojem je tedy menší než R_{\max} .

Průsečík hodochron přímé vlny a vlny refragované podél vrcholu $j+1$ -ní vrstvy bude tedy ve vzdálenosti menší než R_{\max} a prvním nasazením ve vzdálenosti $R > R_{\max}$ může být refragovaná vlna (viz obrázek 3).



obr. 3

CRIT - kritické vzdálenost vlny refragované vrcholem vrstvy K +
 REF_j^J - vlna ze zdroje ležícího na vrcholu vrstvy J refragovaná
 podél vrcholu vrstvy J
 REF_{j+1}^J - vlna ze zdroje ležícího v vrstvě j refragovaná podél vrcholu vrstvy J + 1
 DIR - přímé vlna

Derivace času průchodu

V tomto odstavci budeme používat vektoru s ve významu tečného vektoru k paprsku v bodě zdroje Z.

Vycházíme z toho, že paprsek je stationární křivou integrálu

$$t = \int n ds$$

$I(Z, S)$

kde t ... čas průchodu z bodu Z do S
 1 ... křivka spojující Z s S
 n ... převážená hodnota rychlosti
 ds ... element integrační dráhy

Ize pomocí variacioního počtu odvodit (Lee, Stewart 1981, str. 90-91) jednoduché vztahy pro derivace času průchodu podle souřadnic zdroje rozruchu Z:

$$\frac{\partial A}{\partial x} \Big|_Z = -n \cos(\alpha)$$

$$\frac{\partial A}{\partial y} \Big|_Z = -n \cos(\beta)$$

$$\frac{\partial A}{\partial z} \Big|_Z = -n \cos(\gamma)$$

kde n je poměr v bodě Z
 $\cos(\alpha)$ je kosinus úhlu mezi vektorem S a souřadnicovým vektorém x
 $\cos(\beta)$ je kosinus úhlu mezi vektorem S a souřadnicovým vektorém y
 $\cos(\gamma)$ je kosinus úhlu mezi vektorem S a souřadnicovým vektorém z

Uvedené vzorce lze dále upravit (viz ohrázek 4):

$$\cos(\alpha) = \cos(\phi) \sin(\rho)$$

$$\cos(\beta) = \cos(\beta') \quad \sin(\beta)$$

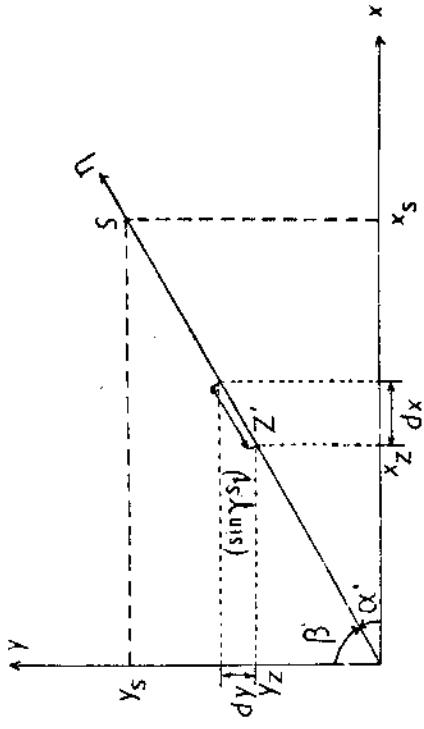
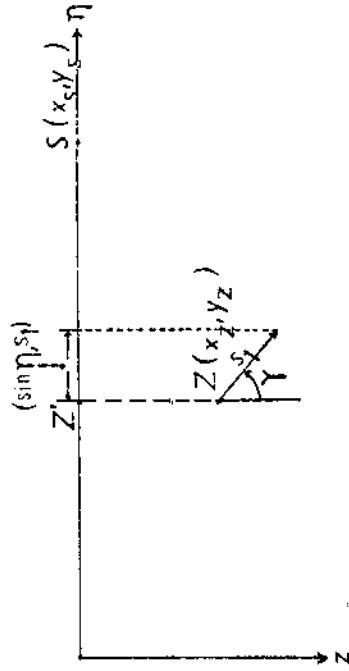
$$\cos(\gamma) = \cos(\gamma')$$

kde β' je úhel výstřelu paprsku ze zdroje - definovaný
jako úhel, který svírá vektor s v bodě hypote-

centra s kladným směrem osy z

α' je úhel mezi průmětem vektoru s do roviny xy a

souřadnicovou osou x
 β' je úhel mezi průmětem vektoru s do roviny xy a
souřadnicovou osou y



obr. 4

v programu jsou použity následující výrazy pro cos(β)

$\theta = \cos^{-1}(\beta)$:

$$\cos(\theta) = \langle \vec{r}_S - \vec{r}_2 \rangle / R$$

$$\cos(\beta) = \langle \vec{r}_S - \vec{r}_2 \rangle / R$$

kde R je epicentrální vzdálenost bodu S
 x_2, y_2, z_2 jsou x -ové souřadnice bodu $2, S$
 y_2, z_2 jsou y -ové souřadnice bodu $2, S$

Pro porovnání s naměřeným časem příchodu viny potřebujeme znát absolutní čas příchodu, proto zavádíme funkci času příchodu T (pro pevnou stanici - bod S):

$$T(x, y, z, t) = t(x, y, z) + t_0$$

kde x, y, z jsou souřadnice zdroje rozpruhu
 t_0 je absolutní čas vzniku rozpruhu.

Funkce T má pak derivace

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial t}{\partial x}$$

$$\frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial t}{\partial y}$$

$$\frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial t}{\partial z}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t_0} = 1$$

3.3.1 Nelineární metody

Na řešení nelineárních úloh existuje celá řada metod, majících své uplatnění v různých oblastech. Účinné univerzální metoda neexistuje. Volba metody závisí o pozadavcích na vlastnosti řešení (chladkost, křivost, velikost v některé normě, blízkost k apriornímu řešení, vztah mezi rozlišením a kovariancí atd.) a na výpočetní náročnost.

Uvedeme jeden z pohledů na řešení nelineárních úloh.

Nelineární rovnici $g(m) = 0$, kde g je nelineární funkce, jsou hledané parametry a dle soustava, linearizujeme rozvinutím do Taylorovy řady kolem m a zanedbáním vyšších členů:

$$\begin{aligned} g(m) &\sim g(m_{\text{est}}) + \text{grad } g(m_{\text{est}})(m - m_{\text{est}}) = \\ &= g(m_{\text{est}}) + G(m_{\text{est}})(m - m_{\text{est}}) \end{aligned}$$

Definujme

$$\Delta m_{\text{est}} = \frac{m_{\text{est}}}{m_{\text{est}}} - m_{\text{est}}$$

Pak

$$\begin{aligned} G_{\text{est}} \Delta m_{\text{est}} &= d - g(m_{\text{est}}) \\ \Delta m_{\text{est}} &= m_{\text{est}} + \Delta m_{\text{est}} \end{aligned} \quad (1)$$

Rovnice (1) může být řešena některou metodou pro lineární problém. Právou stranu rovnice (1) nazýváme vektorem reziduů (v našem případě vektor d obsahující naměřené časy průchodu několika jednotlivých stanicí a $g(m_{\text{est}})$ → jsou vypočtené časy průchodu z předpokládaného hypocentra do jednotlivých stanic).

3.3.2 Nejmenší čtverce s tluměním

3.3.2 Nejmenší čtverce s tluměním

V programu je na základě dosavadních zkoušeností použita metoda nejmenších čtverců s tlumením. V této metodě se jako funkce F , kterou chceme minimalizovat volí kombinace sumy čtverců řeziček a délky řešení v normě $\| \cdot \|_2$. Relativní dílcez na jednotlivé složky kombinace je určen tlumicím faktorem (dumping factor) θ^2 .

$$F = \| \hat{m} - d \|_{L_2} + \theta^2 \cdot \| m \|_{L_2}$$

kde m je vektor hledaných parametrů

d je vektor naměřených dat

A je operátor resp. matice

Řešením je pak vektor

$$\hat{m} = M \cdot d$$

kde

$$M = (A^T A + \theta^2 \cdot I)^{-1} A^T$$

Bližší se tlumící faktor nule, přechází použitá metoda do prostých nejmenších čtverců a roste-li tento faktor, blíží se metoda minimální délky řešení.

Pružná volba tlumícího faktoru umožňuje řešení stabilizovat (zdůrazněním složky velikosti řešení) a v případě stabilní úlohy použít prosté nejmenší čtverce.

Velikost tlumícího faktoru se řídí velikostí nejmenšího vlastního čísla matice $A^T A$: v případě, že je nejmenší vlastní číslo menší než zvolená prahová hodnota, je tlumící faktor roven prahové hodnotě (nastává tlumení); v opačném případě je tlumící faktor nulový (řešení se hledá metodou prostých nejmenších čtverců).

Pozn.: 1) Použití metod nejmenších čtverců a jejich modifikací je založeno na předpokladu normálního rozložení dat a hledaných parametrů.

2) Z pohledu metody totální inverze (Taranola, Valette 1982) nebo ve své podstatě ekvivalentní metody Bayesovského odhadu hypocentra (Matsuura 1984) můžeme volbu velikosti tlumícího faktoru chápát jako dodání apriorní informace, která pomůže problém stabilizovat.

3) Za určitých zjednodušujících předpokladů je možno velikost tlumícího faktoru vyjádřit jako

$$\Phi^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_m^2} + \frac{\sigma_w^2}{\sigma_m^2}$$

kde Φ^2 ... tlumící faktor

σ_a^2 ... rozptyl vstupních dat

σ_w^2 ... apriorní odhad rozptylu hledaných soukladnic hypocentra (dodatečná apriorní informace)

Pro zajímavost uvedeme tabulku charakterizující apriorní informaci dodanou volbou tlumícího faktoru.

G_A	Φ^2	σ_w
[%		E[Km]
1.0	10^{-4}	1.00
0.1	10^{-4}	1.0
0.05	10^{-4}	5
0.1	10^{-3}	3
0.05	10^{-3}	1.5

Zdůrazněme ovšem, že uvedený vztah má spíše ilustrační charakter ukazující souvislosti mezi různými přístupy. V přísluštu použitém v programu HYP03D jej nelze použít k určení velikosti tlumícího faktoru. Zde se velikost tlumícího faktoru odvozuje z rozboru stabilitu úlohy.

4) Pro zvýšení numerické stabilitu výpočtu je v programu použita "vážení" (anglický termín: scaling) matice. Při výpočtu hledaných parametrů musíme invertovat matici X :

$$X = (A^T A + \Phi^2 I)$$

Numerická stabilita této inverze závisí mimo jiné také na poměru největšího a nejménšího prvků matice X . Numerickou stabilitu tedy můžeme zvýšit tím, že tento poměr změníme. Činíme tak "vážením", tj. vhodným přípustným transformováním vedoucím k menší kumulaci numerických chyb.

Když sioupec maticy N je "vážen" takto:

$$b_j = \left(\sum_{i=1}^N x_{ij}^2 \right)^{1/2}$$

$$x_{ij} = N_{ij} / b_j$$

Původní vektor hledaných parametrů m získáme z vektoru m scalou (vypočtenou pomocí N se zadá) transformací

$$m_j = m_j^{scaled} / b_j$$

3.4 Odhady chyb, matice rozlišení

Získáme-li výsledek - odhad souřadnic hypocentra - zajímá nás spolehlivost, přesnost získaného výsledku. Jinými slovy: potřebujeme znát způsob transformace nepřesnosti v datech vstupujících do výpočtu, na nepřesnost ve výsledném odhadu.

Podrobnejší rozbor této problematiky lze najít v (Menke, 1984).

Teorie pro lineární úlohy

U většiny úloh mají uzelce pro odhad hledaných parametrů tvar lineární funkce dat (viz Menke, 1984). Pro odhad hledaných parametrů m lze tedy psát

$$m = M \cdot d + v$$

kde m je vektor odhadovaných parametrů
 M je matice koeficientů lineárních členů
 v je vektor absolutních členů

Předpokládáme-li tedy u dat rozložení charakterizované kovariacioní maticí $\text{cov}(d)$, odhadované parametry mají rozložení

$$\text{cov}(m) = M \cdot \text{cov}(d) \cdot M^T$$

Absolutní členy (vektory v) do výsledné kovariance nepřispívají.

Pro metodu nejmenších čtverců s tlumením má matice M tvar

$$M = (A^T A + \theta^2 I)^{-1} A^T$$

kde θ^2 je tlumící faktor,
 A je matice lineárního systému

Předpokládáme-li dále, že data jsou nekorelovaná a mají stejný rozptyl C_d^2 , pak

$$\text{cov}(m) = C_d^2 (A^T A + \theta^2 I)^{-1} A^T A (A^T A + \theta^2 I)^{-1}$$

Rozptyl dat můžeme odhadnout z výsledných reziduí e_i :

$$C_d^2 = \sum_{i=1}^n e_i^2 / (n-m) \quad (2)$$

kde n je počet dat
 m je počet určovaných parametrů
 $n-m$ je počet stupňů volnosti

$\text{cov}(m)$ můžeme interpretovat dušma způsoby:

- 1) jako výsledek nášování řešení d^* do chyb v modelových parametrech
- 2) jako míru křivosti minimizované funkce v jejím minimu.

Rozšíření úlohy ovězen necharakterizuje jen kovariaci mezi maticemi, ale ještě všež dveře matici $N =$ matici rozlišení dat (data resolution matrix), information density matrix) a $R =$ matici rozlišení modelu (model resolution matrix).

Matica rozlišení dat nám dává odpověď na otázku několik příspěvků vstupní datek znásobené odběru parametrů.

$$d^* = N d \sim$$

kde d^* je vektor původních vstupních dat
 $d \sim$ je vektor dat odpovídajících odhadu parametrů.

Čím více se matice rozlišení dat blíží jednotkové matici, tím větší je informační hodnota vstupních dat pro získání odhadů parametrů.

Matica rozlišení modelu nám dává informaci o tom, zda jsme odhadli jednotlivé hledané hodnoty parameetru nebo jejich vážensé průměry.

$$m^* = R m \sim$$

kde m^{*} jsou "pravdivé" parametry
 $m \sim$ jsou odhadnuté parametry

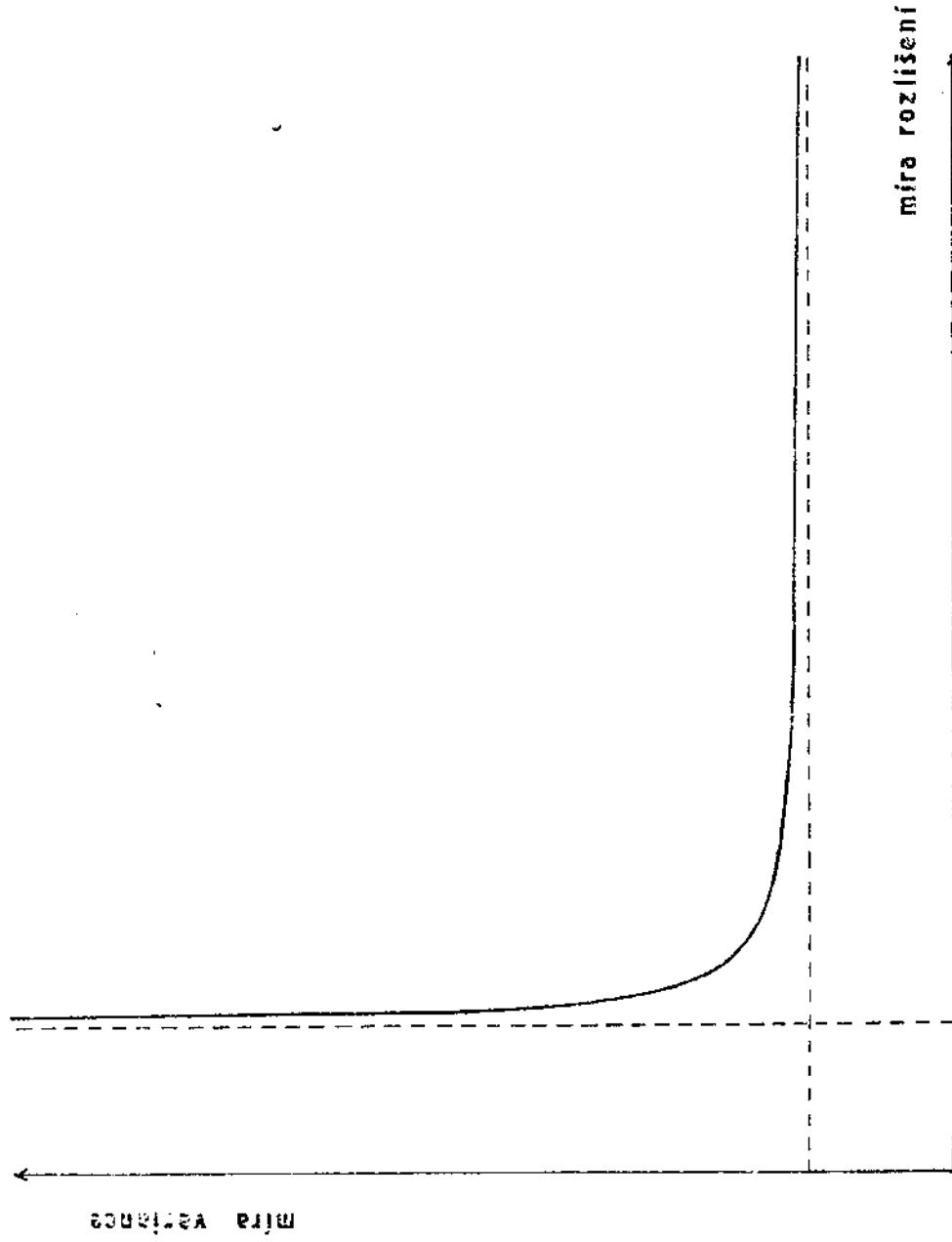
Čím více se matice rozlišení modelu blíží jednotkové matici, tím "rozlišenější" jsou odhadované parametry.

Abychom mohli charakterizovat rozlišení, zavádí se matici "správnosti" rozlišení: rozšíření (spread) mimo diagonálních prvků. Tato míra udává vzdálenost mezi ideálním rozlišením (jednotkovou maticí) a zkoumaným rozlišením:

$$\text{spread}(N) = \| N - I \|_{L_2} = \sum_{ij} |N_{ij} - I_{ij}|^2$$

$$\text{spread}(R) = \| R - I \|_{L_2} = \sum_{ij} |R_{ij} - I_{ij}|^2$$

Mezi rozlišením a variancí existuje vzájemná vazba: zlepšení rozlišení, zhoršíme varianci a naopak, zlepšíme-li varianci, zhoršíme rozlišení (viz obrázek 5).



obr. 5

Pro metodu regresních čtvrtců se tlumením vypadají matici rozlišení následovně

$$R = (A^T A + \Phi^2 I)^{-1} A^T$$

$$N = A (A^T A + \Phi^2 I)^{-1} A^T$$

Čím větší tlumící faktor, tím lepší varianci dostavíme, ale tím horší nám je rozlišení. U nestabilního úlohy je tedy důležité, aby tlumící faktor měl hodnotu dostatečně velkou, aby variance řešení byla přijatelná a úloha se stabilizovala, ale zároveň co nejménší, aby rozlišení nebylo příliš sníženo a řešení jsme málo "blízkou" k původní.

U nelinéárních úloh je situace ještě komplikovanější. Dospějemeli iteracemi procesem k řešení, nelze získat přesný výraz pro kovariaci řešení (v jednotlivých iteracích - a tedy i v té poslední - neřešíme "přesnou" nelinéární úlohu, ale jde o lineárizovanou).

Pro slabě nelinéární problém můžeme vžak Ecov_m dobře approximovat lineárním výrazem

$$[\text{cov}_m] \sim M_{\lambda\lambda} [\text{cov}_d] M_{\lambda\lambda}^T$$

kde je použito $M_{\lambda\lambda}$ z poslední iterace.

Z kovariacioní matice získáme standardní odchylyky odhadu jednotlivých parametrů (odmocniny z diagonálních prvků) a chyboucou elipsu pro odhad souřadnic epicentra.

Při odvozování konkrétního tvaru kovariacioní matice předpokládáme nekorelovaná vstupní data se stejným rozptylem odhadovaným podle vzorce (2). Uvažujeme také nepřesnost modelu, což se promítne do nepřesnosti výpočtu času průchodu (cm) a pro výslednou kovariaci dostáváme vztah

$$[\text{cov}_m] \sim M ([\text{cov}_d] + [\text{cov}_{gj}]) M^T$$

Dále předpokládáme stejný rozptyl pro parametry modelu g

$$[\text{cov}_{gj}] = C_g^2$$

kde C_g je rozptyl (nepřesnost) parametrů modelu
i je jednotková matice.

Použitý výsledný vztah pro kovariaci odhadu parametrů je

$$\text{Icov}_M = \langle C_d^2 + C_g^2 \rangle M^T M = \\ = \langle C_d^2 + C_g^2 \rangle (A^T A + \Theta^2 I)^{-1} A^T (A^T A + \Theta^2 I)^{-1}$$

3.5 Nejednoznačnost řešení lokalizačního problému

Řešení lokalizačního problému je obecně nejednoznačné často. Při řešení obvykle zvolíme funkci závisou na reziuích reziduum: čas průchodu naměřený na jednotlivé stanici mimo čas průchodu vypočtený v daném modelu). Minima funkce pak chápeme jako jednotlivé řešení. Tato řešení můžeme rozdělit do dvou kategorií:

- přirozená: vylúčující z konfigurace stanice, strukturu prostředí a přesných časů průchodu ... odpovídají vlastní symetrii problému
- umělá: vznikající následkem nepřesnosti ve stanovení rychlostního modelu, času nasazení, výpočtu času průchodu (teoretického modelu prostředím) ... odpovídají indukované symetrie problému.

Stojíme tedy často před problémem výběru správného řešení. Porovnáním průměrného rezidua v určitém řešení se součtem (chyba modelu + chyba času nasazení + chyba výpočtu času průchodu) můžeme, v případě, že je průměrné reziduum je větší, řešení vyloučit. Ke stohliivému vyloučení některých řešení nám napomáhá co nejpřesnější model, přesné určení času průchodu a přesný výpočet času průchodu.

Program umožňuje další kontroly jednotlivých řešení. Výpočtem a následným znázorněním relativního středního kvadratického rezidua (s.k.r.) v daném bodě minus s.k.r. v řešení) na kouli o zvoleném poloměru se středem v řešení uživatel získá vizuální představu o ostrosti minima a uvidí, zda minimum není využíváno podmínkami kladenými na řešení (fixace na určitou rovinu ap.).

Pro každé řešení se provádí tzv. amplitudová kontrola lokalizace, založená na předpokládaném poklesu amplitudy signálu s hypocentrální vzdáleností.

Získání i nadále několik řešení, můžeme využít dalších informací (např. pozatky z polárizacní analýzy signálu na jednotlivých stanicích).

3.6 Výpočet magnitudy

Výpočet amplitudového magnituda se děje podle approximativní formule Hoddericka Scherbaum a Stolla (1983) pro ekvivalent Richterova magnituda pro Wood-Andersonův typ seismometru:

$$MWA = \log(s * 2800 / R(a,b)) + 0.1 + 1.4 * \log(s)$$

- kde MWA je ekvivalent Richterova magnituda
pro Wood-Andersonův typ seismometru
s je maximální výklyka půdy v mm
2800 je konstanta použitá pro přepočet signálu
na standardní Wood-Andersonův seismometer,
R(a,b) je významová charakteristika seismického zdroje;
R(a,b)=0.6325
s je hypocentrální vzdálenost.

V bezprostředním okolí hypocentra ovšem tento vztah nelze použít. Za neplatnosti je v programu zvolena hypocentrální vzdálenost 5 kilometrů (odhad magnituda se provádí jen pro stanice ve větší hypocentrální vzdálenosti než 5 km).

Subory a tisky

KAPITOLA 4

Program používá 7 druhů souborů. Některé z nich jsou nutné pro běh programu, další obsahují údaje, které mohou být zastoupeny předvolenými hodnotami nebo výběc vynechány.

4.1 Povinné vstupní soubory

Povinných souboru je 5 druhů. Bez téhoto souboru program nemůže pracovat, oznámi chybou a ukončí se.

4.1.1 Soubor obsahující model a seznam stanic

Tento soubor je charakterizován ve svém názvu přivěskem MOD. Předvolený název pro jednotlivé lokality je xxx_30LA.MOD, kde xxx (3 znaky) charakterizuje lokalitu, pro kterou byl model vytvořen. Soubor musí být umístěn na subdirectory PLU3/PROC/MODELS.

Příklad a popis souboru je v příloze 1. V dalším textu se na tento soubor budeme odkazovat názvem MOD.

4.4.2 Soubor obsahující definici povrchu

Soubor má název SURFACE_XX.DAT, XX (2 znaky) charakterizuje lokalitu, pro kterou byl povrch definován. Musí být na subdirektory PLUT/PROC/MODELS.

Příklad a popis souboru je v příloze 2. V dalším textu se na tento soubor budeme odkazovat názvem SURFACE.

4.4.3 Hlavíčkový soubor

Soubor má název HEADER.DAT, kde P je písmeno určující vzájemnou příslušnost hlavičkového souboru, stanoveního souboru a lokálního souboru – všechny tyto soubory musí začínat stejným písmenem. Soubor je ve formátu ESSTF.

Příklad a popis souboru je v příloze 3. V dalším textu se na tento soubor budeme odkazovat názvem HEADER.

4.4.4 Staniční soubor

Soubor má název PSTATO.DAT, kde P je písmeno (viz hlavičkový soubor) a je ve formátu ESSTF.

Příklad a popis souboru je v příloze 4. V dalším textu se na tento soubor budeme odkazovat názvem STATIO.

4.4.5 Hypo-soubor

Soubor má název PXXX.HYP, kde P je písmeno (viz hlavičkový soubor) a XXX je trojčíslo.

Příklad a popis souboru je v příloze 5. V dalším textu se na tento soubor budeme odkazovat názvem HYP.

4.2 Neposílání vstupní soubory

Program využívá 2 druhy neposílajících souborů. Jestliže tyto soubory neexistují program použije předvolené hodnoty, případně vynechá informační výstup závisející na daném souboru (případ souboru pro znázornění zdroje rozruchu).

4.2.1 Soubor obsahující zmámené zdroje seismického signálu

Soubor má název SOURCE_xx.DAT, kde xx (2 písmena) charakterizuje lokalitu, ke které se váže.
Příklad s popis souboru je v příloze 6. V dalším textu se na tento soubor budeme odkazovat názvem SOURCE.

4.2.2 Soubor obsahující startovací body

Soubor je možno využívat jen při neinteraktivním režimu. Název souboru je xxxx.START, kde xxxx (6 znaků) je volitelná část názvu.
Příklad s popis souboru je v příloze 7. V dalším textu se na tento soubor budeme odkazovat názvem START.

4.3 Výstupní soubory

Program volitelně vytváří dva výstupní soubory. Při volbě uživatele: vytvoří soubor s názevem na stanici, program automaticky vytváří i soubor určený pro databázi lokalizovaných událostí.

4.3.1 Soubor obsahující dosažení na jednotlivých stanicích

Soubor se jmenuje x.LOC, kde x (4 písmena) je stejně jako název lokálního souboru bez přívěšku HYP. Soubor je využíván vizuálním programem SKAF a je popsán v příloze 8. V dalším textu se některé soubory budeme odkazovat názvem LOC.

4.3.2 Soubor určený pro databázi

Soubor má název x.HYP3, kde x (4 písmena) je stejně jako název lokálního souboru bez přívěšku HYP. Soubor obsahuje údaje potřebné pro databázi lokalizovaných událostí a je popsán v příloze 9. V dalším textu se na tento soubor budeme odkazovat názvem HYP3.

4.4 Tisk

Program umožňuje vytisknout výsledky jednotlivých režimů výpočtu.

- 1) Tisk při režimu krokování hložky
(príloha 10)
- 2) Tisk při režimu výpočtu stř. kvadr. res. na dáné síti
(príloha 11)
- 3) Tisk při dosažení řešení v režimu fixovaných nebo nefixovaných souřadnic
(príloha 12)
- 4) Tisk při režimu fixovaných nebo nefixovaných souřadnic v případě nenašezení řešení
(príloha 13)

Spuštění programu, základní režimy	KAPITOLA 5
------------------------------------	------------

Program může být spuštěn v interaktivním režimu.

Uživatel může vyvolat informaci o použitího vých parametrech (viz příloha 14) pomocí parametru -?:

HYP3D,-?

Význam jednotlivých parameterů:

Parametr	Význam
-U	název subdirektoře, na které se nachází data (6 písmen)
-T	první písmeno rázu hypotíp-souboru (1 písmeno)
-F	číslo prvního lokalizovaného hypotíp-souboru (1 - 999)
-L	číslo posledního lokalizovaného hypotíp-souboru (předvolené hodnota: číslo prvního: 1 - 999)
-N	název souboru s modelem přestředí (16 písmen) (předvolená hodnota: hledá se vhodný soubor podle předvoleného seznamu)
-E	chyba modelu v milisekundách (ve volném formátu; je použita pro výpočet odhadu chyby hypocentrálních souřadnic místo chyby modelu zadáné v souboru obsahujícím model)
-R	volba neinteraktivního režimu
-S	parametr pro neinteraktivní režim; jméno souboru se startovacími body (6 písmen)
-Z	parametr pro neinteraktivní režim; hloubka fixovaná na zvolenou hodnotu (voliný formát)

Plně interaktivní režim se vyzvolí napsáním použitého názvu programu:

HYPGEN

Program pak nejprve uživateli nabídne seznam všech existujících subdirektory */LU21/DATA*; po volbě subdirektory se objeví seznam všech hypotestových souborů na zvolené subdirektory a uživatel je vyzván k výběru (viz příloha 15 a popis podprogramu Dialog_4). Pokud uživatel již předem ví co chce, může toto zadání přeskočit a zadat subdirektoři a hypotestový soubor pomocí parametrů *-T*, *-F*, *-D*.

Pro lokalizaci pomocí intervalu hypotestového lze zadat tento interval pomocí *-F*, *-L*. Chcete-li uživatel použít jiný model než ten, který přísluší podle předvolného seznamu, zadá název parametrem *-M*. V případě, že je třeba použít pro výpočet chyb řešení jiné hodnoty než té, která je v modelovém souboru, je možno ji zadat parametrem *-E*.

Neinteraktivní režim se volí parametrem **-n**. V tomto režimu musí být zadány následující parametry: **-D**, **-T**, **-E**, **-H**. Proti interaktivnímu režimu je možno použít novic ještě dva parametry: **-S** pro název souboru se startovacími body (pokud uživatel chce aby výpočet byl startován v jiném bodě než je nejblíže stanice), **-Z** pro pevnou předem zadánu závodou souřadnicí chloubku) řešení.

Pokud byl zadán název souboru se startovacími body, bude pro každý vstupní hypotézový soubor použit právě jeden startovací bod daný v souboru se startovacími body.

Při tomto režimu není při bezchybném běhu výpis na terminál. Program automaticky vytváří pro každý vstupní hypotézový soubor pro databázi a soubor s nasazeními pro jednotlivé stanice. Jestliže nedožle ke konvergenci (Řešení nebylo nalezeno), má v databázovém souboru hypocentrum prostorové souřadnice 999.99. Ukázky zádávání interaktivního a neinteraktivního režimu jsou v příloze 15.

Interaktivní režim	KAPITOLA 6
--------------------	------------

V tomto režimu se po správném zadání potřebných parametrů vypíší pro kontrolu na obrazovku podstatné údaje ze vstupního hypo-souboru. Příklad výpisu je v příloze 16. Uživatel je vzbudnut k volbě další činnosti - program vypíše 1. MENU:

```
HYP03D: M e n u
HYP03D: End of program      -- "E"
Correct hypofile             -- "C"
Next menu                     -- "N"  [HJ]:--
```

Uživatel může program ukončit (volbou E), volit režim modifikace časů a vah jednotlivých nasazení (C) nebo 2. menu (N). Ve všech menu je zachovávána konvence, že v hranatých závorkách je uvedena předvolená možnost! Předvolená možnost vestupuje v platnost při stisknutí pauze klávesy RETURN.

Při režimu modifikace (volba C) se na terminálu vypíše tabulka povolených a zakázaných polí. V povolených polích, do kterých můžete uživatel přistup, jsou položky, které mohou být měneny: Časy příchodu a relativní váhy nasazení. Formulář je popsán v příloze 17.

Změnit-li uživatel váhy, program má následné možnosti zapsat změněné váhy do zdrojového hypo-souboru:

HYP03D: Make changes of weights permanent? (Y/N) [N]:--

Uživatel zvolí "Y", jestliže chce přepisat váhy ve zdrojovém hypo-souboru. Při volbě "N" zůstane zdrojový hypo-soubor nezměněn, vahy jsou změněny jen pro výpočet.

Časy příchodu permanentní měnit nelze!

Následuje 2. MENU. Program vypíše

HYP03D: M e n u	
HYP03D: Scanned depth	- "S"
Fixed coordinates mode	- "F"
Pos of res. on given net	- "R"
No fixed coordinate	- "N" [N] -

Uživatel volí jeden ze čtyř základních režimů výpočtu:

Krokování hloubky	... S
Režim fixovaných souřadnic	... F
Stř. kvadr. res. na dané síti	... R
Režim nefixovaných souřadnic	... N

Popis jednotlivých režimů včetně vstupu a výstupu je obsahem následujících odstavců.

V režimech popisovaných v dalších kapitolách si program při zadávání začátku a konce intervalu převomá vložené hodnoty tak, aby začátek byl vždy menší nebo roven konci intervalu.

6.1 Režim krokované hloubky

Použití tohoto režimu umožňuje v případech, kdy je řešení nestabilní pro hloubku hypocentra a v častých případech vazby čas vzniku - hloubka hypocentra, nalézt řešení pro fixovanou hloubku hypocentra v zadáném intervalu a s daným krátkem.

Výsledná tabulka (viz příloha 10) dává obrázek o průběhu funkce průměrného rezidua (odmocina ze součtu kvadrátu rezidui) ve zvoleném intervalu hloubek hypocentra.

Zadání počátku a konce hloubkového intervalu, kroku a startovacího bodu:

HYP030: Start of scan! —

Uživatel zadá začátek intervalu.

HYP030: End of scan! —

Uživatel zadá konec intervalu.

HYP030: Scan Step! —

Uživatel zadá krok, po kterém se má tloušťka měnit.

HYP030: Starting point ... X,Y,ORIG, TIME
space coord. = 0 ... value of the nearest station
orig. time = 0 ... value given by min. procedure
10,0,0! —

Uživatel zadá bod, ve kterém se bude startovat výpočet pro jednotlivé fixované tloušťky. Je-li prostorová souřadnice nula, použije se příslušná souřadnice nejbližší stanice. Je-li čas vzniku nula, vypočítá se tak, aby minimalizoval sumu čtverců reziduí.

Po úspěšném zadání požadovaných údajů program počítá a vypisuje průběžné výsledky (popis a formát viz příloha 10 týkající se tisku).

Po ukončení režimu krokované tloušťky program nabídne 3. MENU:

HYP030: N e n u	—	"E"
End of location	—	"C"
Continue location	—	"P" [E]: —

Uživatel má možnost:

ukončit lokaci s tímto hypo-souborem . . . E
pokračovat v lokaci s tímto hypo-souborem . . . C
tisk výsledků . . . P

Po volbě tisku program vytiskne výsledky na tiskárnu
a nabídne 4. menu:

```
HYP3D: menu
      End of location   - "E"
      Continue location - "C"  [E]: _
```

Uživatel má možnost:

ukončit lokaci s tímto hypo-souborem . . . E
pokračovat v lokaci s tímto hypo-souborem . . . C

Zvolili uživatel v 3. resp. 4. menu "E", ukončí se lokace s tímto hypo-souborem a program hledá zda byl zvolen a existuje další hypo-soubor pro lokaci. V případě, že program ve zvoleném intervalu hypo-souboru již žádný nenašel, ukončí se. V opačném případě program nabídne opět menu 1.

Při volbě "C" v 3. resp. 4. menu program nabídne opět menu 1.

6.2 Režim výpočtu stř. kadr. reziduí na dáné síti

Použití tohoto režimu umožňuje mapovat předmětovou funkci (v tomto případě ve formě odmocniny ze součtu čtvrtého rezidu) v zadané oblasti prostorové případně i v zadaném intervalu časů vzniku rozruhu. Výsledný formulář je popsán v příloze 11.

Zadání časoprostorové oblasti a kroků v jednotlivých souřadnicích:

HYP03D: Start of coordinate x:—

Uživatel zadá počátek intervalu v souřadnici x.

HYP03D: End of coordinate x:—

Uživatel zadá konec intervalu v souřadnici x.

HYP03D: Step:—

Uživatel zadá krok v souřadnici x.

HYP03D: Start of coordinate y:—

Uživatel zadá začátek intervalu v souřadnici y.

HYP03D: End of coordinate y:—

Uživatel zadá konec intervalu v souřadnici y.

HYP03D: Step:—

Uživatel zadá krok v souřadnici y.

HYP03D: Start of depth (ggg for fixed surface):—

Uživatel zadá začátek intervalu v souřadnici z - hloubce.

HYP03D: End of depth:—

Uživatel zadá krok v souřadnici z - hloubce.

HYP03D: Step:—

Uživatel zadá krok v souřadnici z - hloubce.

HYP03D: Start of origin time only seconds, e.g. 28.340
reference time 87-4-0-09 20:00
<0 for value given by minimizing procedure> [0]:—

Uživatel zadá začátek intervalu v časové souřadnici.
Zadá-li nulu, program automaticky dopočítává hodnotu času
vzniku tak, aby minimalizoval sumu čtvrticů reziduí. Čas
se zadává v sekundách vzhledem k uvedenému referenčnímu
času. Má-li být čas menší než referenční čas, volí se
záporná hodnota, která se od referenčního pro výpočet
odečte.

HYP03D: End of origin time:—

Uživatel zadá konec intervalu v časové souřadnici.

HYP03D: Step:—

Uživatel zadá krok v časové souřadnici.

Po úspěšném zadání požadovaných údajů program počítá
a vypisuje průběžné výsledky (popis a formát viz příloha
11 týkající se tisku).

Po ukončení výpočtu program nastane 3. menu a chová se
dále stejně jako po režimu krokované hloubky (viz
předchozí odstavec).

V tomto iterativním režimu má uživatel možnost fixovat jednotlivé souřadnice. Speciální možnosti pro lokaci povrchových událostí je možnost fixovat z-doru souřadnic na povrch (definovaný v příslušném vstupním souboru SURFACE).

Další užitečnou možností skýtá tento režim při zefixování všech čtyřech souřadnic. V tomto případě program spočítá a vyplňe ve standardním formuláři tohoto režimu sponzoré časy průchodu a residua na jednotlivých stanicích při pevně zvoleném zdroji (hypocentru).

Program nabídne volbu kombinace souřadnic, které mají být fixovány:

HYP030: Enter combination of following letters

<Example: for fixed org. time and depth enter "TZ">

Fixed coordinate X	- "X"
Fixed coordinate Y	- "Y"
Fixed depth	- "Z"
Fixed origin time	- "T" TZ:--

Uživatel zvolí kombinaci příslušných písmen. Například "TZ" znamená volbu fixovaného času vzniku události a hĺbky – souřadnice Z.

Program bere v úvahu maximálně čtyři vložené znaky (ostatní ignoruje). Souřadnice bude fixována, byť-li nejméně jeden z vložených znaků roven nule označení souřadnice.

Zvolili uživatel fixovanou hĺbku:

HYP030: Value of fixed depth <999 for fixed surface> [999]:-

Uživatel zadá hodnotu fixované hľubky, hodnotu 999 pro fixovaný povrch. Program dále požaduje zadat startovací hodnoty pro nefixované souřadnice:

HYP03D: Enter

```
X      <0 for value of the nearest station>
      <0 for value of the nearest station>
Y      <0 for value given by min. procedure>
ORIG, TIME <0 for value given by min. procedure>
[0,0,0] :_
```

Uživatel v tomto případě zadá hodnoty souřadnic x, y, času uzníku. Hodnoty nula pro jednotlivé souřadnice mají výše zmíněný speciální význam.

Dále probíhá výpočet postupných iterací. Důležitější údaje se při jednotlivých iteracích zobrazují na terminálu. Popis a blíže vysvětlení vypisovaných údajů je v příloze 18.

Nezkonvergujeme-li řešení do 50 iterací, program nabídne možnost pokračovat v řešení až do dalších 50 iterací:

HYP03D: Hypocenter not found in 50 iterations.

HYP03D: Continue location with final coordinates
of trial hypocenter? [y/n] [n]:_

Uživatel zvolí "y", chce-li pokračovat v řešení, "n", jestliže chce řešení ukončit. Po volbě "n" program pokračuje nabídkou 3. menu. Příklad tisku v tomto případě je v příloze 13.

V případě konvergence řešení se na obrazovku vypíše závěrečný formulář, jehož popis je v příloze 12. Poté program čeká na odeslání klávesy RETURN, po němž se provede tzv. amplitudová kontrola lokalizace. Na obrazovce se vykreslí informativní obrázek závislosti amplitudu na hypocentrální vzdálenosti stanice.

Podrobnější popis je v příloze 19. Program opět čeká na odeslání klávesy RETURN. V případě, že jsou ve vstupním souboru pro známé zdroje rozruchu v okruhu 10 km od hypocentra nalezeny nějaké zdroje, vypíší se pak (maximálně 3) na terminál. Blíže vysvětlení je v příloze 23.

Program dále nabídne volbu dalšího pokračování v 5. MENU:

HYP030: M e n u

HYP030: Rms of res. on a sphere - "R"
End of program - "E"
Next menu - "N" [ENTR]

Uživatel má možnost volit:

výpočet stř. k. res. na kouli se středem v hypocentru ... R
ukončení programu ... E
nabídku dalšího menu (šestého) ... N

výpočet středního kvadratického rezidua se středem v hypocentru a zvoleným poloměrem slouží ke kontrole, zda minimum, které odpovídá řešení není vazáno jen na předmět plochu (při fixovaných souřadnicích). Výpočet se provádí v 10 bodech (8 v rozích krychle vepsané do koule + 1 bod nad středem horní základny + 1 bod pod středem dolní základny). Blížší popis je v příloze 20.

Poté je uživateli nabídnuto 6. MENU:

HYP030: M e n u
HYP030: End of location - "E"
Continue location - "C"
Write loc-file - "L"
Copy result to the printer - "P" [ENTER]

Uživatel má možnost:

ukončit lokaci s tímto hypo-souborem ... E
pokračovat v lokaci s tímto hypo-souborem ... C
zapsat soubor s výpoč. na stanících ... L
vytištít výsledky ... P

Při volbě "E" se ukončí lokace s tímto hypo-souborem a program hledá zda byl zvolen a existuje další hypo-soubor pro lokaci. V případě, že program ve zvoleném intervalu hypo-souborů již žádný nenašel, ukončí se.

V opačném případě program nabídne otevřít menu 4.

Při volbě "C" program pokražuje v lokaci s tímto hyposeuborem nabídkou 4. menu.

V případě "L" program vytvoří případně přepíše soubor LOC (používaný vizualizacním programem GRAF) a zároveň se automaticky vytvoří soubor HYP3 (popis souboru viz samostatně odstavce a přílohy).

Volbou "P" uživatel získá výsledek vytisknuté na tiskárně, příklad výstuje je v příloze 12.

Po volbě "P" je nabídnuto menu chodusí o tučno možnost, totéž platí o volbě "L". Tedy po volbě "P":

HYP03: M e n u	"E"
HYP03: End of location	"C"
Continue location	"L" [L]:
Write loc-file	---

a dále po volbě "L":

HYP03: M e n u	"E"
HYP03: End of location	"C"
Continue location	"L" [E]!:
Write loc-file	---

kde "E" a "C" má stejný význam jako v 6. menu.

6.4 Režim nefixovaných souřadnic

V tomto iterativním režimu uživatel zadává pouze souřadnice startovacího bodu.

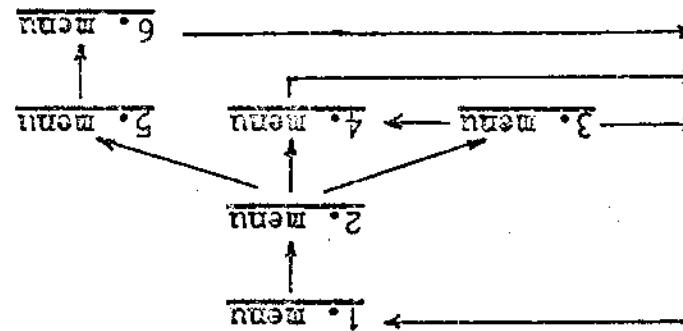
HYPOTHESIS: Starting point . . . X,Y,DEPTH,ORIS, TIME
space coord. = 0 . . . values of the nestest station
orig. time = 0 . . . value given by minim. procedure
E0,0,0,01;—

Uživatel zadá hodnoty souřadnic x, y, z, sase vznikou.
Hodnoty nula pro jednotlivé souřadnice mají význam změnění
speciální význam.

Dále se program chová stejně jako v režimu fixovaných
souřadnic.

Vzájemné vztahy jednotlivých menu	KAPITOLA 7
-----------------------------------	------------

V programu je použita čest menu. V následujících sedmi stranách jsou graficky znázorněny vztahy jednotlivých menu.



A Z Y J E M N E V A Z B Y J E D N O T L I V X G H K E N U

1. menu

KONEC PROGRAMU

ukončení programu

OPRAVA HYPOSOURCEU

rezim operačny basu a vzh

2. menu

2. menu

DALŠÍ MENU

KROK, HLOUBKA

proces fixovaniou
pocetek cyklu

pocetek iteraci
procesu

vypoctet zas
pocetek a

sestavenej
matice novy
vypoctu

test na ukonceni
iteraci

vypoctet novy
odnoty fix.

test na ukonceni
menu

FIX. SOUTRADNICE

ho procesu
body stře

vypoctet zas
pocetek

novy, vypoctet
systemu, vypoctet
systemu a

test na ukonceni
iteraci

vypoctet novy
systemu, vypoctet
systemu a

test na uspesne
rezeni lokačee

test na ukonceni
menu

RMS NA STI

ho procesu
body stře

vypoctet zas
pocetek

novy, vypoctet
systemu, vypoctet
systemu a

test na ukonceni
menu

test na ukonceni
iteraci

novy, vypoctet
systemu, vypoctet
systemu a

systemu a matice
novy, vypoctet
systemu, vypoctet
systemu a

choď a dešťvač
choď a dešťvač
choď a dešťvač

vypoctet zas
pocetek

ho procesu
body stře

vypocty

NETIX. SOUTRADNICE

2. menu

test na ukonceni
menu

KONEC LOKACE

1. menu

hypnosuobor
Lokace s novym

hypnosuoboru
dalatih zvoleneho
test na existenciu

1. menu

POKRAČ. LOKACE

4. menu

titisk

VYSTUP NA TISKYANU

3. menu

POKRAČOVANÍ LOKACE

1. menu

4. menu

KONEC LOKACE

test na existenci dalsího
zvoleného hypotenoubooru

lokace s novým hypotenouborem

1. menu

5. menu

DAISI MENU

KONEC PROGRAMU

6. menu

ukončenie programu

6. menu

VÝPOČTY

RIEŠ NA KOUĽI

KONEC LOKACE

ZAPIS LOC-SOUBORU

POKRAČ. LOKACE

6. menu
tisku

6. menu bez možnosti
zapisu LOC-SOUBORU

6. menu bez možnosti
zapisu LOC-SOUBORU

VÝSTUP NA TISKARNU

6. menu

1. menu
zvoleného hypo-
tencí aležího
test na ext-s-
zobrazit soubořu
lokačce s novým
hyposouborem

1. menu

Reakce na break	KAPITOLA 8
-----------------	------------

Program reaguje na systémový break ve dvou rozdílných případech.

Za prvé je to v průběhu výpočtu různých režimů - hned po spočtení časů průchodu a jejich derivací.

V tomto případě program vypíše v režimu výpočtu středního kvadr. rezidua na dané síti:

HYP03D: Operator break.

```
HYP03D: H e n u
HYP03D: Continue      - "C",
End of rms of res. on net mode, next menu - "N" [C] : _
```

kde uživatel zvolí "N", jestliže chce ukončit výpočet v tomto režimu, "C" nebo jen <RETURN>, chce-li pokračovat.

V režimu krakování hloubky:

HYP03D: Operator break in xx iteration.

```
HYP03D: H e n u
HYP03D: Continue iteration process - "C"
End of iteration process, show results - "S"
End of iteration process, next menu - "N" [C] : _
```

xx je číslo iterace při výpočtu ssuž. třík. hloubky

kde uživatel zvolí "N", jestliže chce ukončit výpočet v tomto režimu, nebo "S", jestliže chce ukončit výpočet pro současnou

fixovanou hloubkou, výsledek v okamžiku přerušení a pokračovat dálší fixovanou hloubkou. Zvolí-li "C" nebo jen <RETURN>, výpočet pokračuje plynule dál.

V režimu fixovaných nebo nefixovaných souřadnic:

HYP03D: Operator break in xx iteration.

HYP03D: M e n u
HYP03D: Continue iteration process - "C"
End of iteration process, show results - "S"
End of iteration process, next menu - "N" [CJ]--

xx je číslo iterace, ve které byl výpočet přerušen

kde uživatel zvolí "N", jestliže chce ukončit výpočet v tomto režimu, nebo "S", jestliže chce ukončit výpočet a vypsat výsledek v okamžiku přerušení. Zvolí-li "C" nebo jen <RETURN>, výpočet pokračuje plynule dál.

Za druhé je to v průběhu vyhledávání dalšího hypo-souboru (při zadání intervalu hypersouborů v runstringu). V tomto případě, program vypíše:

HYP03D: Break detected. Searching ... hypofile # xx
Continue or abort? [C/A) [CJ]--

xx je číslo hypofile jehož existence se testovala v okamžiku přerušení

Uživatel zvolí "A", jestliže chce program ukončit. Zvolí-li "C" nebo <RETURN> program pokračuje v testování.

Chybové stavy	KÄRITOLA S
---------------	------------

Chybové stavy při operacích se soubory popisuje podprogram ReportError v tomto formátu:

```
HYP030: Error on file xxx
in modul yyy
Message ... zzz
```

```
kde xxx je název souboru u kterém došlo k chybě
yyy je název modulu u kterém došlo k chybě
zzz je podrobnější popis chyby podle systémového
podprogramu FmReportError nebo číslo Iostat chyby
```

V případě, že chyba není fatální, program hledá možnost napravy nebo pokračuje v předvoleném běhu bez použití nepřístupné informace. V opačném případě je program ukončen.

Program ohláší chybu, jestliže nenalezní *vyhledává pouze z-komponenty* ze souboru STATION ve staniciním seznamu v souboru NOD. Vypíše hlášku:

```
HYP030: Error in preparing of station names for locfile .
Station X not found in station list ... will be ignored.
```

kde X je název stanice

Pro tuhé stanici nebude počítat nesazení do souboru LOC, což je jediný důvod této chyby.

Dalším typem chyby je malý počet nesazení. V případě, že jsou jen tři nesazení s nenulovou výhou (v hypo-souboru úvaha < 4>) a uživatel nezvolil žádnou fixovanou souřadnici nebo režim při kterém se některá souřadnice fixuje (krokovaná hloubka, výpočet stř. kvadr. rezidua na dané síti), program vypíše:

HYP03U: Only 3 valid arrivals.
Enter value of fixed depth:

a po zadání hodnoty fixované hložky pokračuje ve výpočtu.

Jestliže uživatel ve výpočtu nechce pokračovat lze použově ukončit program současným známknutím kláves "Ctrl" a "D".

V případě, že počet nasazení s nenukovou váhou je menší než tři, program vypíše:

HYP03D: Error - no. of arrivals in hypofile < 3.

HYP03U: Program ended.

a ukončí se.

Algoritmus interaktivního režimu:

```
IF <byl zadán runstring> THEN
    dekódování runstringu
ELSE
    interaktivní vstupy
ENDIF

10 continue

vstupy ze souboru, výpočet dalšího jíména hyposouboru
<call INPT>

90 continue

1. menu:
    IF <konec programu> THEN
        ukončí program
        <call ABORT>
    ELSE IF <oprava časů a vah> THEN
        nabídni možnost opravy
        <call REPAIR>
        nabídni druhé menu
    ELSE
        nabídni druhé menu
    ENDIF

2. menu:
    IF <ukončení hložek> THEN
        vstupy pro krokování hložek
        pamatuj si volbu
    ELSE IF <fixované souřadnice> THEN
        vstupy fix. souřadnic
    ELSE IF <rms na síti> THEN
```

```
vstupy  
ELSE  
    nefixované souřadnice  
    vstupy  
ENDIF
```

```
29 continue
```

```
IF <rms na síti> THEN  
    vypočti souřadnice síťového bodu  
ENDIF
```

```
i=0
```

```
30 continue
```

```
i= i+1
```

```
vypočti časy průchodů a derivace pro daný bod odpisu  
(call TB_ALL)
```

```
test na break
```

```
vypočet středního kvadratického rezidua  
(call ITER_1)
```

```
IF <rms na síti> THEN  
    vypočti souřadnice dalšího síťového bodu  
    go to 30  
ENDIF
```

```
IF <není to režim krokované hledátky> THEN  
    výpis iterace  
ENDIF
```

```
test na pokles průměrného rezidua
```

```
IF <prům. res. se zmenšilo> THEN  
    změni poslední krok na 1/P_DECREASE a spočti znova iteraci  
    i=i-1  
    go to 30  
ENDIF
```

```
vypočti vektor posunutí hypocentra
```

```
IF <změna v hledátku > MAX_CHANGE_Z> THEN  
    změna v hledátku = MAX_CHANGE_Z
```

ENDIF

vypočítí nové souřadnice hypocentra

IF <fixovaný povrch> THEN

souřadnice z = souřadnice povrchu

ENDIF

IF <změna souř. x < MIN_SHIFT_EPI a

změna souř. y < MIN_SHIFT_EPI a

změns souř. z < MIN_SHIFT_DEPTH> THEN

- vypočti časy průchodu pro tyto souřadnice hypocentra

- vypočti odhad rezidui, kovariánční matice

go to 30 a dlej jen výjmenované činnosti

ENDIF

IF <i0 < MAXITER> THEN

go to 30

ELSE

IF <krokovaná hloubka> THEN

vypiš souřadnice 999.99

ELSE

nabídní pokračování dalšími NASTYER iteracemi

ENDIF

IF <pokračovat> THEN

i=0

go to 30

ENDIF

IF <není tvořením krokované hlooubky> THEN

vypočti magnitudu

graf závislosti amplitudy na vzdálenosti

vypiš nejbližší známé zdroje

ELSE

vypočti další fix. hloubku pro krokovaný režim

go to 29

ENDIF

ENDIF

nabídka různých menu podle typu skončené činnosti
možnost tisku výsledků příp. zápis do souboru LOG, HVP3

IF <lokace s dalším hypocentrem> THEN

go to 10

```
ELSE IF <pořízení> ě tímto hyposouborem) THEN  
    go to 90  
ENDIF  
  
IF <konec> THEN  
    ukonči program  
    (catl ABRT)  
ENDIF
```

```
Výrazové hodnoty  
P_DECNESE  
MAX_CHANGE_Z  
MIN_SHIFT_EPI  
MIN_SHIFT_DEPTH  
MAXITER  
  
jsou parametry definované v include souborech (viz kapitola  
Důležité parametry, include soubory).  
  
Při reinteraktivním režimu se potlačí dotazy na uživatelské  
a použijí se údaje pro volbu režimu (fixovaná hlebka),  
startovací bod lokalizace z runstringu.
```

Struktura programu, jednotlivé moduly

KOFITÚLA 11

Program se skládá z 59 modulů, které tvoří hlavní segment a 11 překlývacích segmentů (členitý segment) → SEG1 až SEG11. Využívá knihovnu s plajnových podprogramů MODEL.LIS.

Volbu možností a průběh výpočtu řídí hlavní program pomocí volání jednotlivých segmentů a modulů.

Zádrog programu je v segmentu SEG1, kde se počítají časy průchodu a jejich derivace z hypacentra do jednotlivých stanic. Blížeji popis teoretických podkladů téhoto segmentu i dalších použitých postupů a vzorců je v kapitole Teoretické podklady.

Jednotlivé moduly jsou podrobně popsány ve zdvojovém textu, včetně způsobu volání, předávání parametrů, stručného popisu činnosti a využití dalších modulů.

Přehled jednotlivých modulů (včetně označení úrovni volání) je v příloze 23.

11.1 Hlavní segment

Hlavní segment se skládá z hlavního programu (1. úroveň) a modulů, které jsou volány z různých nižších úrovní.

11.1.1 Hlavní program

Hlavní program řídí průběh výpočtu podle zvolených režimů volením jednotlivých segmentů a modulu 2. úrovni.

11.1.2 Podprogram SEG_LOAD

Podprogram provádí nastavení segmentu s daným názvem do paměti. V případě, že segment nelze náthnout do paměti ohlási chybu a program se ukončí.

11.1.3 Podprogram TRANS

Podprogram provádí transformace souřadnic ze souřadnic použitých při výpočtech v programu do lokálních zeměpisních souřadnic a naopak.

11.1.4 Podprogram CLEAR_DISPLAY

Podprogram vymazuje celou obrazovku terminálu.

11.1.5 Podprogram DATUM

Podprogram převádí časové údaje ze vstupních parametrů (rok, ..., sekunda) na normalizovaný tvr $c_0 < \text{sekunda} < c_0 \text{ atd.}$. Pro zjištění počtu dní v měsíci číslo n (n je celé číslo) použije funkci DAYS.

11.1.6 Funkce DÁYS

Funkční hodnota po volání s parametrem n (celé číslo) je počet dní v příslušném měsíci – pro $0 \leq n < 13$, v jiném případě je funkční hodnota nulla.

11.1.7 Podprogram REPORT

Podprogram řeší závadu ukončení programu. Pro mazání pomocného souboru na direktorii SCRATCH volá podprogram PURGE_SCRATCH. V případě, že byl vytvořen nebo přepracován soubor LOC, předá programu, který tento program spouštěl (father program) v 5. parametru hodnotu jedna, v případě, že soubor LOC nebyl měněn, vrátí hodnotu nula. Jestliže byly změněny váhy v hyposouboru, přičítá se k vrácenému parametru hodnota 10.

11.1.8 Podprogram REALS_TO_INT

Tento podprogram rozkóduje časové pole (rok, měsíc, den, hodina, minuta) zkódované do proměnné reál*8 do pěti celočíselných proměnných.

11.1.9 Podprogram REPORTERROR

Podprogram popisuje chybu, ke kterým došlo při běhu programu. Podrobný popis výstupu z tohoto podprogramu na terminálu je v kapitole Chybové stavy.

44 . 2 Segment SGT1

Tento segment je skládá z 9 modulů. Struktura segmentu je následující:

V tomto podprogramu se zadává postupně pro jednotlivé stanice vytvoření zprůměrněného jednorozměrného modelu (volením LAYER, VELOCITY), určení dráhy v získaném modelu a výpočet času průchodu a jeho derivaci v blokovém třírozměrném modelu (volání RT 30).

Padprogram ET_30

V tomto podprogramu se v daném jednorozaměrném modelu najde nejkratší dráha (mezi refragovanými a přímými vinami) a podél této dráhy se vypočítá čas průchodu v ZO modelu pomocí Podprogramu LT. Derivace času průchodu se pečítají podle vzorců uvedených v literatuřní koncepci.

11.2.3 Podprogram TEPE

Podprogram provádí pomocné výpočty pro zjištění minimálního času průchodu pro refragované vlny v daném 1D modelu.

11.2.4 Podprogram LT

Podprogram počítá čas průchodu přímkového paprsku v 3D modelu mezi dvěma zadánymi body. Pro pomocné výpočty užívá podprogramy SEARCH_L a SORT_D.

11.2.5 Podprogram SEARCH_L

Podprogram hledá číslo oddělení, ve kterém je bod zadanou souřadnicí. Zadány jsou hraniče jednotlivých oddělení.

11.2.6 Podprogram SORT_D

Podprogram třídí prvky v řídícím poli podle velikosti a současně převrhává prvky v dalších polích.

11.2.7 Podprogram LAYER

Podprogram inicializuje 1D-model. Vytvoří systém vrstev tak, že vrchol první vrstvy je dán vstupním parametrem ZST. Vrcholy dalších vrstev procházejí body dělení osy z (viz definice 3D modelu). Výsledkem tohoto podprogramu je pak pole D obsahující vrcholy vrstev a proměnná NL udávající počet vrstev (za počítává se i poslední neohraničená vrstva).

14.2.8 Podprogram VELOCITY

Podprogram vypočte průměrné rychlosť v jednotlivých vrstvách cvoláni. Podprogramu VL) a testuje, zda rychlosť ve vrstvách splňuje podmínkou, když vrstva má vyšší rychlosť než vrstva nad ní.

Wei-ii tato podmínka splněna, sloučí se nejvyšší vrstva narušující tuto podmíncu s vrstvou nad ní (postup je popsán v kapitole Teoretické podklady).

14.2.9 Podprogram VL

Podprogram vypočte průměrnou rychlosť v dané vrstvě (postup je popsán v kapitole Teoretické podklady). Pro pomocné výpočty používá podprogramy SEARCH_L a SURT_B.

11.3 Segment SSTe

Tento segment se skládá ze 3 modulů. Struktura segmentu je následující:

CREATE_DSFIE ... OUTPUT ... SORT_X

11.3.1 Podprogram CREATE_DSFIE.

Vytváří příp. otevře soubor pro databázi a naplní jej vložením podprogramu OUTPUT.

11.3.2 Podprogram OUTPUT

Program provádí chybouvou analýzu z kovarienční matici, počítá azimuty a vytváří závěrečné formuláře pro výstup na terminál, na tiskárnu, do souboru s násazením na stanicích a do souboru určeného pro databázi. Typ výstupu je volen parametrem při volání podprogramu.

Pro pomocné výpočty používá podprogram SORT_X.

11.3.3 Podprogram SORT_X

Standardní podprogram pro řízení prvků pole podle velikosti.

Tento segment se skládá z 9 modulů. Struktura segmentu je následující:

```
DIALOG_4 ..... SEARCH
          ..... FILEX
SPHERE_STEP
MASHI
ORIGIN_TIME
DECODE_RUN_STRING ... RUN_STRING_PAR ... INFO
```

4.1.4.1 Podprogram DIALOG_4

Podprogram zjiští (voláním podprogramu FILEX) zda existuje hypo-soubor a modelový soubor s názvy zadanými v runstringu.

V případě, že neexistuje modelový soubor, program se bude dále chovat jakoby název nebyl zadán.

V případě, že nebyla zadána subdirektoře, podprogram vypíše (voláním podprogramu SEARCH) seznam všech subdirektoří a uživatel je požádán o zadání názvu. Podprogram čeká, zda na této subdirektoři hypo-soubor existuje. Jestliže neexistuje, podprogram vypíše seznam všech hypo-souborů na dané subdirektoři a uživatel je požádán o vložení názvu hypo-souboru.

V případě, že byla zadána subdirektoře, existuje a hypo-soubor na ní nebyl nalezen, podprogram vypíše seznam všech hypo-souborů na této subdirektoři a uživatel je požádán o zadání názvu hypo-souboru.

V případě, že byla zadána subdirektoře, na které není žádný hypo-soubor, ukončí se celý program (voláním podprogramu ABORT).

11.4.2 Podprogram SEARCH

Podprogram vyhledává všechny subdirektory příp. všechny hypotesoubory na dané direktorii v závislosti na parametru předávaném při volání podprogramu.

11.4.3 Podprogram FILEX

Podprogram testuje existenci subdirektory, modelového souboru nebo hypotesouboru v závislosti na vstupním parametru.

11.4.4 Podprogram SPHERE_STEP

Podprogram řídí výpočet středních kvadratických reziduí na kouli se středem ve výsledném hypocentru. Po vypočtení všech hodnot vypíše přehlednou městu reziduí (viz příloha 11).

11.4.5 Podprogram HASEI

Podprogram počítá ekvivalent Richterova magnituda pro Wood-Andersonův typ seismometru podle vzorce uvedeného v teoretické části.

11.4.6 Podprogram ORIGIN_TIME

Podprogram převádí čas vzniku rozruchu na normalizovaný tvar.

11.4.7 Podprogram DECODE_RUNE_STRING

Podprogram dekóduje runestring s využitím podprogramu RUN_STRING_FAR. Hlídá možné chybové stavy a oznamuje chybovou zádání parametry.

11.4.8 Podprogram RUN_STRING_FAR

Podprogram si "zajematauje" runestring a dekóduje ho na jednotlivé složky. V případě, že runestring je prázdný volá podprogram INFO.

11.4.9 Podprogram INFO

Podprogram vypíše na obrazovku informaci o použití jednotlivých parametrů a ukončí program.

4.1.5 Segment SGTR

Tento segment se skládá z jediného modulu.

4.1.5.1 Podprogram LISTING

Podprogram vytváří jedinečný název pro soubor určený pro tisk a vytvoří tento soubor případně soubor vytiskne. Činnost je řízena parametrem předaným při volání podprogramu. Tisk souboru se provádí voláním programu PRINT, který je součástí softwarového vybavení systému. V případě, že tento program není k dispozici, musí se nahradit obdobným programem. Popis jednotlivých parametrů při volání programu PRINT je ve zdrojovém textu podprogramu LISTING.

Tento segment se skládá ze 3 modulů. Struktura segmentu je následující

```
INPT ... SEARCH_CR_MODEL  
      ... SPLINE_IN
```

4.1.6.1 Podprogram INPT

Testuje zda existuje další hypo-soubor v daném intervalu hyposouborů. V průběhu tohoto testování reaguje na systémové přerušení (break).

Podprogram připojuje soubory: hypo-soubor, soubor se startovacími body, soubor s definicí povrchu, soubor se znázými zdroji sesmického rozruchu. Načítá údaje z těchto souborů a ze souboru obsahujícího model.

Pro výhledání a připojení příslušného modelového souboru volá podprogram SEARCH_CR_MODEL. Načtení údajů z příslušného souboru s definicí povrchu provede pomocí podprogramu SPLINE_IN.

4.1.6.2 SEARCH_CR_MODEL

Podprogram vyhledává příslušný modelový soubor k danému hypo-souboru v případě, že nebyl zadán příslušný parametrem v runstringu. Přečte z hypo-souboru název stanice. Pak podle předvoleného seznamu postupně otevří modelové soubory, načež seznam stanic a testuje, zda název stanice z hypersouboru je v načteném seznamu stanic. Pokud se název stanice z hypersouboru nevyskytuje v žádném seznamu stanic, program se ukončí.

Podprogram nazývá údaje ze souboru obsahujícího definici povrchu.

11.7 Segment SCT6

Tento segment je skládá ze 2 modulů. Struktura segmentu je následující

CLF_IN
CLF_1

11.7.1 Podprogram CLF_IN

Podprogram dokončuje počet stanic s klaviárového souboru (tape header file), údaje o stanicích ze staniciho souboru (station header file) a naplní pole ionset, které obsahuje údaje o nasazených na jednotlivých stanicích.

11.7.2 Podprogram CLF_1

Podprogram vytvoří soubor s nasazeními na stanicích (e.LOC) a zapiše do něj údaje o vypočtených nasazeních na stanicích v hypo-souboru. Doplnění vypočtených nasazení pro všechny stanice pak provádí podprogram CLF_2.

14.8 Segment SGT?

Tento segment je skladá z 9 modulů. Struktura segmentu je následující:

```
CLF_2 ... RT_3D_L ... TERM ...
          ... SORT_0 ...
          ... LT ... SEARCH_L
          ... LAYER ...
          ... VELOCITY ... VT ... SEARCH_L
```

14.8.1 Podprogram CLF_2

Podprogram doplní soubor s nářazními na stanice o stanici a nářazení, které nejsou v hypoco-souboru. Pro výpočet časů průchodu z hypocentra do té které stanice používá podprogram RT_3D_L.

14.8.2 Podprogram RT_3D_L

Podprogram je upravenou verzí RT_3D. Počítá čas průchodu pro dané hypocentrum a číslo stanice v 3D modelu. Popis použitých podprogramů viz segment SGT1.

11.9 Segment SCT8

Tento segment se skládá z 8 modulů. Struktura segmentu je následující:

```
OPCLOSE  
AMPL ..... PAUSE  
NEAREST_SOURCE ... SORT_SOURCE ... PAUSE  
DIALOG_1  
DIALOG_2  
DIALOG_2_1
```

11.9.1 Podprogram CLOSE

Podprogram otevírá příp. vytváří a zavírá soubory. V případě, že nastala chyba, popíše ji a ukončí program.

11.9.2 Podprogram AMPL

Podprogram výkreslí na alfanumerické obrazovce graf závislosti logaritmů amplitudy na hypocentrální vzdálenosti. Podrobnější popis grafu viz příloha 19.

11.9.3 Podprogram PAUSE

Podprogram vypíše na terminál hlášku

HYP03D: Hit <RETURN> to continue

a čeká dokud uživatel nezmění hodnotu <RETURN>.

11.9.4 Podprogram HERESTY_SOURCE

Podprogram načte ze scouboru se známými zdroji seismického signálu údaje. Třídi je podle hypocentrální vzdálenosti (volání podprogramu SORT_SOURCE) a vypíše maximálně 3 nejbližší zdroje nacházející se do dané hypocentrální vzdálenosti (určené parametrem NEAR_LEVEL).

11.9.5 Podprogram SORT_SOURCE

Třídí údaje podle vrstevající hypocentrální vzdálenosti.

11.9.6 Podprogram DIALOG_1

Podprogram vypíše hlavičku pro režim krokované hledby.

11.9.7 Podprogram DIALOG_2

Podprogram testuje zda jsou splněny předepsané podmínky. V případě, že ano, nabídne uživateli menu s volbou výpočtu středních kvadratických reziduí na kouli kolem hypotenzy.

11.9.8 Podprogram DIALOGS_Z_4

Podprogram nabízí různá menu další činnosti, kterou je odpovědi a nastavuje příslušné vlažky.

11.10 Segment SET9

Tento segment se skládá z 5 modulů. Struktura segmentu je následující:

```
DIALOG_3 ... REPAIR ... PERMANENT_CHANGE  
... VALID_ARRIVAL  
REC_TIME_NAME
```

11.10.1 Podprogram DIALOG_3

Podprogram nabízí uživateli menu další činnosti týkající se volby výpočetního nebo opravného režimu. Obsluhovává vstupy potřebných hodnot pro zvolený režim. Pro neinteraktivní režim čte ze souboru se startovacími body (byly-li zadány).

V případě volby režimu opravy hypo-souboru, volá podprogram REPAIR. Poté volá podprogram VALID_ARRIVAL, který testuje, zda po opravách je počet nasazení vhodný k dalšímu výpočtu (větší než tři).

11.10.2 Podprogram REPAIR

Podprogram vypíše na obrazovku tabulku (viz příloha 17), ve které může uživatel měnit váhy a časy nasazení. Při změně vah podprogram nabídne možnost zapsání změněných vah do původního hypersouboru. Zápis do něj se provádí ve volaném podprogramu

PERMENENT_CHANGE.

11.10.3 Podprogram FERMENENT_CHANGE

Podprogram při ukončení lokace s daným hypo-souborem zjistí, zda byly změněny váhy a nabídne uživátele změnit váhy přímo v hypo-souboru.

11.10.4 Podprogram VALID_ARRIVAL

Podprogram testuje, zda po opravách je počet násazení vhodný k dalšímu výpočtu (větší než tři).

11.10.5 Podprogram REC_TIME_NAME

Podprogram v závislosti na vstupním parametru INUMBER provádí: určení první approximace hypocentra nebo normuje naměřené časy násazení a vypočte počet násazení majících vliv na výpočet nebo kontroluje jména stanic, na kterých byl měřen signál se stanicičním seznamem z modelového souboru a stanice, které v tomto seznamu nejsou neběre dálku v úvahu, násťasouje potřebné vlažky.

11.11 Segment SGT10

Tento segment se skládá z 9 modulů. Struktura segmentu je následující:

```
ITER_1
ITER_2 ... EIGEN
... MINW
BREAK
COV_MATRIX
RMS_NET_1 ... SPLINE_VALUE
RMS_NET_2
```

11.11.1 Podprogram ITER_1

Podprogram v závislosti na řídících parametrech: určí čas vzniku tek, aby minimizoval součet čtverců reziduí nebo počítá sumu čtverců reziduí případně počítá odhad rozptylu vstupních dat pro výpočet kovarianční matici podle vzorce uvedeného v teoretické části (s tím, že je-li reziduum na některém násobení menší než hodnota READING_ERROR nahradí se hodnotou parametru).

11.11.2 Podprogram ITER_2

Podprogram vypočte matici normálních rovnic (dále matice $n \times r$), vlastní hodnoty této matice. Po porovnání nejmenšího vlastního čísla s prahovou hodnotou DAMP_LEVEL buď zapne (nejm. vlastní číslo je menší nebo rovno) nebo nezapne (nejm. vlastní číslo je větší) tlumení. Modifikuje matici $n \times r$. Pro fixování souřadnice, vypočte škálovanou matici a invertovanou matici. Pro výpočet vlastních hodnot používá podprogram EIGEN, pro inverzi matice podprogram MINW.

11.11.3 Podprogram EIGEN

Podprogram provádí výpočet vlastních hodnot a vektorů dané symetrické matice; je součástí matematické knihovny IBM. V programu je použita verze tohoto podprogramu s dvojitou přesností.

11.11.4 Podprogram MINV

Podprogram provádí inverzi dané matice; je součástí matematické knihovny IBM. V programu je použita verze tohoto podprogramu s dvojitou přesností.

11.11.5 Podprogram BREAK

Podprogram nabízí menu dalšího pokračování v situacích kdy program zachytí systémové přerušení (break).

11.11.6 Podprogram COV_MATRIX

Podprogram vypočítá kovariánční matici pro nejménší čtverce s tlumením podle vzorce uvedeného v teoretické části.

11.11.7 Podprogram RMS_NET_1

Podprogram je volán při režimu výpočtu součtu čtverců rezidui na dané síti.Inicializuje počátek výpočtu, vypíše klavičku. Pro určení elevace povrchu volá podprogram SPLINE_VALUE.

4.4.8 Podprogram SPLINE_VALUE

Podprogram testuje zda zadane souřadnice x, y nejsou mimo zadane meze modelu povrchu. V případě, že jsou mimo tyto hranice, povrch se počítá v nejbližším místě na okraji modelu jinak se povrch vypočte v daném bodě.

4.4.9 Podprogram RHS_NET_2

Podprogram v rezimu výpočtu součtu čtvrtců reziuí na "dané síti řídí postupné kroky v dané síti a vypisuje výsledky.

11.12 Segment SCRATCH

Tento segment je užitý z modulu ~ podprogramu PURGE_SCRATCH.

11.12.4 Podprogram PURGE_SCRATCH

Tento podprogram mazá dočasné soubory používané při výpočtu programem HYFO3D na directory /SCRATCH.

Modifikace - zavedení nové lokality	KAPITOLA 12
-------------------------------------	-------------

Pokud uživatel nezádá růně stringovým parametrem -H název souboru MOD, který má být použit k lokalizaci, program použije ten z předem definovaných souborů MOD, který obsahuje stanice z hypot-souboru.

V současné verzi jsou v programu předdefinovány čtyři lokality (jejich počet je definován parametrem MAX_MODELS v include souboru PARAN.FTNI, názvy příslušných souborů MOD jsou definovány příkazy DATA od řádku 125 v zdrojovém textu podprogramu SEARCH_CR_MODEL.)

Pro použití jiných lokalit, případně přidání dalších lokalit, je třeba provést následující postup:

- 1) definovat pomocí příkazů DATA názvy souborů MOD
- 2) změnit hodnotu parametru MAX_MODELS tak, aby odpovídala počtu definicí názvů lokalit příkazy DATA
- 3) přeložit všechny soubory, které obsahují include soubor PARAN.FTNI (viz příloha 25) a sestavit program (viz příloha 28)

Důležité parametry, include soubory	KAPITOLA 13
-------------------------------------	-------------

V programu se používá 45 include souborů. Seznam využití a blížší popis include souboru je v příloze 24.

Seznam příloh	KAPITOLA 14
---------------	-------------

Příloha 1: Soubor obsahující definici modelu a seznam stanic (MOD)

Příloha 2: Soubor obsahující definici povrchu (SURFACE)

Příloha 3: Hlavičkový soubor (HEADER)

Příloha 4: Staniční soubor (STATION)

Příloha 5: Hypo-soubor (HYP)

Příloha 6: Soubor obsahující známé zdroje seismického signálu (SOURCE)

Příloha 7: Soubor obsahující startovací body (START)

Příloha 8: Soubor obsahující nasazení na jednotlivých stanicích (LOC)

Příloha 9: Soubor určený pro databázi (HYP3)

Příloha 10: Tisk při režimu krokované hlabky

Příloha 11: Tisk při režimu výpočtu středního kvadratického rezidua na dané síti

Příloha 12: Tisk při dosažení řešení v režimu fixovaných nebo nefixovaných souřadnic

Příloha 13: Tisk při režimu fixovaných nebo nefixovaných souřadnic v případě nenašlezení řešení

Příloha 14: Informace o parametrech runstringu

Příloha 15: Příklady zadání interaktivního a neinteraktivního režimu

Příloha 16: Výpis vstupních dat

Příloha 17: Tabulka pro modifikaci času a vah

Příloha 18: Výpis postupných iterací

Příloha 19: Graf pro amplitudeovou kontrolu

Příloha 20: Výstup při výpočtu relativního středního kvadratického rezidua na kouli se středem v hypocentru

Příloha 21: Přehled menu

Příloha 22: Výpis nejbližších známých zdrojů

Příloha 23: Struktura volání modulů

Příloha 24: Include soubory, parametry

Příloha 25: Použití common bloků

Příloha 26: Výpis programových modulů s relativními adresami

Příloha 27: Transfer soubor pro překlad a sestavení programu

Příloha 28: Transfer soubor pro link

Příloha 29: Mapa sestaveného programu

Použitá literatura	KAPITOLA 15
--------------------	-------------

- Schertlum F., Stoll D. (1983): Source parameters and scaling laws of the 1978 Seabian Jura (Southwest Germany) aftershocks,
Bull. Seismol. Soc. Amer. 73, 1321-1343
- Menke W. (1984): Seophysical data analysis, discrete inverse theorie
- Firbas P. (1984): Travel time curves for complex inhomogeneous slightly anisotropic media,
Stud. Geoph. et Geod.
- Lee W.H.K., Stewart S.W. (1981): Principles and applications of microearthquake networks,
Academic Press Inc., New York
- Romanov V. G. (1972): Některé obrazové zadači dlej
uravnenij giperbolického tipa,
Rauka, Novosibirsk, 117-120
- Lee W.H.K., Lahr J.C. (1975): HYPOTI - revised:
A computer program for determining hypocenter, magnitude and first motion pattern of local earthquakes,
Open-file report 75-311, U.S. Geological Survey
- Lahr J.C. (1981): HYPOELIPSE/MULTICS:
A computer program for determining local earth-quake hypocentral parameters, magnitude and first motion pattern,
Open-file report 80-59, U.S. Geological Survey
- Tarantola A., Vallette B. (1982): Generalized nonlinear problems solved using the least squares criterion
Rev. of geoph. and space phys., 2, 219-232

Hatano M. (1984): Bayesian estimation of hypocenter
with origin time eliminated
J. Phys. Earth, 32, 469-483

OBSAH

1	Historie vzniku	2
2	Stručný popis programu	4
3	Theoretické podklady	5
3.1	Model	5
3.1.1	3D-model	5
3.1.2	1D-model	6
3.2	Výpočet času průchodu a derivací	7
3.2.1	Linearizační princip	7
3.2.2	Vlny v 1-rozměrném modelu	9
3.3	Lokalizace jako nelineární úloha	20
3.3.1	Nelineární metody	20
3.3.2	Nejmeneší čtverce s tlumením	21
3.4	Odhady chyb, maticce rozlišení	23
3.5	Nejednoznačnost řešení lokalizačního problému	28
3.6	Výpočet magnitudy	29
4	Soubory a tisky	30
4.1	Povinné vstupní soubory	30
4.1.1	Soubor obsahující model a seznam stanic	30
4.1.2	Soubor obsahující definici povrchu	31
4.1.3	Hlavičkový soubor	31
4.1.4	Staniční soubor	31
4.1.5	Hypo-soubor	31
4.2	Ne povinné vstupní soubory	32
4.2.1	Soubor obsahující známé zdroje seismického signálu	32
4.2.2	Soubor obsahující startovací body	32
4.3	Výstupní soubory	32
4.3.1	Soubor obsahující nasazení na jednotlivých stanicích	33
4.3.2	Soubor určený pro databázi	33
4.4	Tisky	33
5	Spuštění programu, základní režimy	34
6	Interaktivní režim	37
6.1	Režim krokované hloubky	38
6.2	Režim výpočtu stř. kvadr. reziduí na dané síti	40
6.3	Režim fixovaných souřadnic	43

6.4	Režim nefixovaných souřadnic	46
7	Vzájemné vztahy jednotlivých menu	48
8	Reakce na break	56
9	Chybavé stavů	58
10	Algoritmus	60
11	Struktura programu, jednotlivé moduly	64
11.1	Hlavní segment	64
11.1.1	Hlavní program	65
11.1.2	Podprogram SEG_LOAD	65
11.1.3	Podprogram TRANS	65
11.1.4	Podprogram CLEAR_DISPLAY	65
11.1.5	Podprogram DATUM	65
11.1.6	Funkce DAYS	66
11.1.7	Podprogram A3ORT	66
11.1.8	Podprogram REAL8_TO_INT	66
11.1.9	Podprogram REPORTERRUR	66
11.2	Segment SET1	67
11.2.1	Podprogram TD_ALL	67
11.2.2	Podprogram RT_3D	67
11.2.3	Podprogram TERM	68
11.2.4	Podprogram LT	68
11.2.5	Podprogram SEARCH_LL	68
11.2.6	Podprogram SORT_D	68
11.2.7	Podprogram LAYER	68
11.2.8	Podprogram VELOCITY	69
11.2.9	Podprogram VL	69
11.3	Segment SET2	70
11.3.1	Podprogram CREATE_DBFILE	70
11.3.2	Podprogram OUTPUT	70
11.3.3	Podprogram SORT_X	70
11.4	Segment SET3	71
11.4.1	Podprogram DIALOG_4	71
11.4.2	Podprogram SEARCH	72
11.4.3	Podprogram FILEX	72
11.4.4	Podprogram SPHERE_STEP	72
11.4.5	Podprogram MAGNI	72
11.4.6	Podprogram ORIGIN_TIME	72
11.4.7	Podprogram DECODE_RUN_STRING	73
11.4.8	Podprogram RUN_STRING_PAR	73
11.4.9	Podprogram INFO	73
11.5	Segment SET4	74
11.5.1	Podprogram LISTING	74

11.6 Segment SGT5	75
11.6.1 Podprogram INPT	75
11.6.2 SEARCH_CR_MODEL	75
11.6.3 SPLINE_IN	76
11.7 Segment SGT6	76
11.7.1 Podprogram CLF_IN	77
11.7.2 Podprogram CLF_1	77
11.8 Segment SGT7	78
11.8.1 Podprogram CLF_2	78
11.8.2 Podprogram RT_3D_L	78
11.9 Segment SGT8	79
11.9.1 Podprogram OPCLOSE	79
11.9.2 Podprogram AMPL	79
11.9.3 Podprogram PAUSE	79
11.9.4 Podprogram NEAREST_SOURCE	80
11.9.5 Podprogram SORT_SOURCE	80
11.9.6 Podprogram DIALOG_1	80
11.9.7 Podprogram DIALOG_2	80
11.9.8 Podprogram DIALOG_2_1	81
11.10 Segment SGT9	81
11.10.1 Podprogram DIALOG_3	81
11.10.2 Podprogram REPAIR	81
11.10.3 Podprogram PERMANENT_CHANGE	82
11.10.4 Podprogram VALID_ARRIVAL	82
11.10.5 Podprogram REC_TIME_NAME	82
11.11 Segment SGT10	83
11.11.1 Podprogram ITER_1	83
11.11.2 Podprogram ITER_2	83
11.11.3 Podprogram EIGEN	84
11.11.4 Podprogram MINV	84
11.11.5 Podprogram BREAK	84
11.11.6 Podprogram COV_MATRIX	84
11.11.7 Podprogram RMS_NET_1	84
11.11.8 Podprogram SPLINE_VALUE	85
11.11.9 Podprogram RMS_NET_2	85
11.12 Segment SGT11	86
11.12.1 Podprogram PURGE_SCRATCH	86
12 Modifikace - zavedení nové lokality	87
13 Důležité parametry, include soubory	88
14 Seznam příloh	89
15 Použitá literatura	91