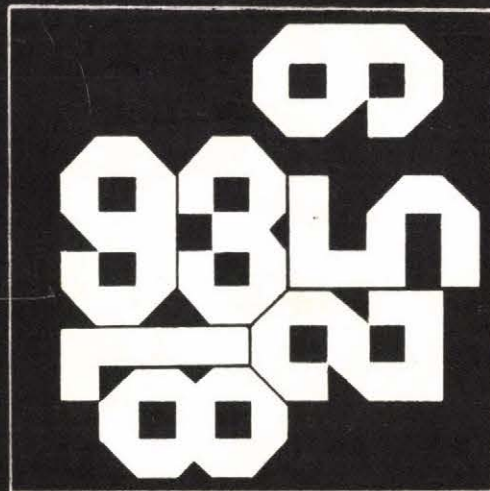


tanulmányok **93/1979**

MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézet Budapest



A kiadásért felel:

DR VÁMOS TIBOR

ISBN 963 311 082 3

ISSN 0324-2951

Készült a KSH Nemzetközi Számítástechnikai Tájékoztató és
Oktató Központ Reprográfiai Üzemében
7220-219

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
SZÁMITÁSTECHNIKAI ÉS AUTOMATIZÁLÁSI KUTATÓ INTÉZETE

A BALATONI ÖKOSZISZTÉMA MODELLEZÉSE

Irták:

BOLLA MARIANN

CSÁKI PÉTER

FISCHER JÁNOS

HERODEK SÁNDOR

HOFFMANN GYÖRGY

KUTAS TIBOR

TELEGDI LÁSZLÓ

WITTMANN IMRE

Szerkesztette:

CSÁKI PÉTER

Tanulmányok 93/1979.

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS	5
1. A BALATON EUTROFIZÁLÓDÁSA	7
2. A MODELLEZÉS CÉLJA ÉS LEHETŐSÉGEI	10
3. AZ EUTROFIZÁLÓDÁS MODELLEZÉSE	12
4. A BEM MODELLEK ÉS RÉSZMODELLEK	15
4.1. <u>A BEM-1 modell és változatai</u>	15
<u>I. BEM-1.1 változat, fénylimitálási tényező</u> <u>változtatása</u>	17
<u>II. BEM-1.2 változat, mortalitás változ-</u> <u>tatása</u>	18
4.2. <u>A BEM-2 modell</u>	18
4.3. <u>A BEM-3 modell és változatai</u>	22
<u>I. BEM-3 változat</u>	22
<u>II. BEM-3.1 változat</u>	23
4.4. <u>Az üledék foszforforgalma és a viz-üledék</u> <u>tápanyagcseréje</u>	25
4.5. <u>A vizgyűjtőről jövő tápanyagterhelés</u> <u>modellje</u>	29
5. A BEM MODELL SZIMULÁCIÓS PROGRAMJA	34
5.1. <u>A viztest-modell</u>	34
IRODALOMJEGYZÉK	36
A) FÜGGELÉK - A BEM-3.1. modell egyenletei	41
B) FÜGGELÉK	46

BEVEZETÉS

Ebben a dolgozatban a balatoni ökoszisztéma modellezése terén 1978. évben végzett munkánkról számolunk be. Ezen munka kezdetének, az 1977. évi tevékenységünknek, a leírását a Progress Report No. 1. (PR-1) tartalmazza.

1977-ben csupán a tó nyílt vizének ökoszisztémáját modelleztük, amelynek során kidolgoztuk a BEM-1 -nek elnevezett u.n. viztest-modellt. Ez évben - a kitűzött fokozatos fejlesztés elveinek megfelelően - tevékenységünket kibővítettük, a viztest-modell fejlesztése és módosítása mellett, egyrészt a vizgyűjtőről jövő tápanyagterhelés, másrészt a viz és az üledék közötti tápanyag-forgalom modellezésével. Ezen két tényezőnek a Balaton esetében meghatározó szerepe van, ezért ezek nélkül megfelelő rendszer leírás nem képzelhető el.

A fent említett modellek kidolgozását a jelenlegi formájában 1978-ban létrehozott Balaton Eutrofizálódását Modellező (BEM) munkacsoport 1., 2b és 2c témáinak keretében Fischer János irányításával a következő személyek végezték (a BEM munkacsoportról és témáiról ld. az összeállított munkaterveket és az 1978. évi munkajelentést):

Viztest-modell (1. téma):

Csáki Péter
Heródek Sándor
Kutas Tibor

Vizgyűjtő tápanyagterhelési modell (2b téma):

Telegdi László
Bolla Mariann

Víz-üledék tápanyag-forgalom modellje (2c téma):

Hofmann György

Witmann Imre

(A munkacsoport többi témáiról más írások számolnak be.)

Munkánk során értékes segítséget kaptunk Bogárdi Istvántól, Dobolyi Elemértől és Jolánkai Gézától és más külső együttműködőktől.

A dolgozat első részében röviden vázoljuk a modellezés előzményeit, a Balatonnal kapcsolatos problémákat, amelyek miatt a modellezés szükségessége felmerült és amelyek megoldásában a kidolgozandó modellek segítséget kívánnak nyújtani. Ezután kitérünk a modellezés céljainak és lehetőségeinek taglalására, végül ismertetjük a modellfejlesztés eredményeit.

1. A BALATON EUTROFIZÁLÓDÁSA

Az utóbbi évek kedvezőtlen jelenségei (halpusztulás, vízvirágzás stb.) felhívták a szakemberek figyelmét arra, hogy a Balatont is utolérte sok tónak a fejlettebb ipari államokban már korábban bekövetkezett sorsa: a növényi tápanyag feldusulása, más szóval az *eutrofizálódás*. Ez a folyamat komolyan veszélyezteti a Balaton legfontosabb tulajdonságát: a fürdésre, üdülésre való alkalamosságát és így sürgetővé vált a megfelelő intézkedések megtervezése és végrehajtása. Ezért a szakemberek mind nagyobb figyelmet szentelnek a tónak, egyre több szempontra terjed ki a tó kutatása és növekszik a mérések gyakorisága.

Természetes körülmények között egy ökoszisztémára a *tápanyag körforgása* jellemző: a szervesanyag-termelés, -fogyasztás és -lebontás többé-kevésbé zárt folyamat. A gazdasági-társadalmi fejlődés, tehát az egyre intenzívebb ipari és mezőgazdasági termelés, az egyre nagyobb települések létesítése ezt a körfolyamatot megváltoztatja: a termőföldeken megtermelt szervesanyag nem a földre jut vissza, hanem a városok és állattartó telepek szennyvizeibe és általában a vizekben bomlik le. Ezt tetézi, hogy a mezőgazdaságban használt műtrágyák és növényvédőszerkegy része is a vizekbe kerül. Ezáltal a vizekben, főleg a lassu átfolyású tavakban a növényi tápanyag felhalmozódik; ennek következtében növénytermőképességük megnövekszik, eutrofizálódnak.

A Balaton esetében a környező üdülő-övezetből és a vízgyűjtőről jövő *táp- és szervesanyagterhelés* okozza az eutrofizálódást. Jelentős szerepet tölt be ebben a Zala, aminek következtében a tó trofitási szintje medencénként különböző: a tó nyugati végén (Keszthelyi-öböl) a legmagasabb, de az évek folyamán az *eutrofizálódás kelet felé terjed*, a trofitási szint minden medencében emelkedik. Ezt a tényt a Balatonban legintenzívebb szervesanyag termelést végző élőlények, az algák biomassza adatai támasztják alá. (ld. 1. ábra

Herodek S., Tamás G. (7)-ből átvéve).

A megfigyelések alapján a Balaton-kutató szakemberek szerint a tó 5-10 éven belül üdülésre alkalmatlanná válik, ha az eutrofizálódás megállítására nem történnek megfelelő intézkedések. Ehhez azonban meg kell határozni, hogy a tóba jutó növényi tápanyagok különböző forrásai egyenként milyen mértékűek; meg kell állapítani, hogy a Balaton ökoszisztémája hogyan reagál a különböző tápanyag-terhelésekre. Más szóval számszerűleg is *ismerni kell az ökoszisztéma belső törvényszerűségeit, valamint reakcióit a külső hatásokra* (beleértve a tápanyagterhelésen kívül az időjárás és más hatásokat is).

Mivel általában az ökoszisztémák egyes részei szoros kölcsönhatásban vannak egymással, egy ponton történő beavatkozás kihatással lehet az egész ökoszisztémára. Pl. valamely alga-evő halfajta telepítése csak egyes algafajok ritkítását teszi lehetővé (minthogy ezek nem minden algafajt képesek megemészteni), így más algafajok nagymértékben elszaporodhatnak.

Legfontosabb teendő természetesen a tápanyagelvonás. Mivel azonban ez jelentős beruházást igényel, ezért ennek módjait (szennyvitzisztítás, szennyvizelvezetés, Kisbalaton visszaállítása stb.) és ütemezését megfelelően kell megválasztani. Más intézkedések is szóba jöhetnek (vízszint-szabályozás, élőlények telepítése, erdősítés a vizgyűjtőn, partszabályozás stb.), de ennek kihatásait is minden vonatkozásban ismerni kell.

Jelenleg sok összefüggés még nem kellően tisztázott; lényeges folyamatoknak nem ismerjük pontosan a törvényszerűségeit. (Igy pl.: számszerűen hogyan függ a szervesanyag termelés a tápanyag mennyiségétől, fényintenzitástól stb; vagy: hogyan keveredik fel az üledékből az ott lévő tápanyag.) Ezért van nagy jelentősége *a megfelelő intézkedéseket tudományosan is alátámasztó kutatásoknak*. Ezeknek a kutatásoknak ki kell terjedni - többek között - a Balaton vízminőségi, biológiai, kémiai, vízforgalmi és hidrológiai vizsgálatára, a tápanyag-

terhelés forrásainak, különösen a nem-pontszerű forrásoknak meghatározására, a növényi tápanyag, különösen a foszfor forgalmának és kémiai átalakulásának vizsgálatára, mind a Balatonban, mind a vizgyűjtőn. A vizsgálatok során a *mennyiségi viszonyok feltárása* döntően fontos; ehhez sok mérés szükséges, ezért tervszerűen biztosítani kell a megfelelő adatsorok, egy komplex adatbázis létrehozását.

Ezen túlmenően szükség van az *ökoszisztéma rendszerszemléletű vizsgálatára*, amelynek során lehetőleg minél több összefüggést egyidejűleg veszünk figyelembe. Az ilyen típusu vizsgálat az *ökológiai rendszer matematikai modelljének kidolgozását* teszi szükségessé.

2. A MODELLEZÉS CÉLJA ÉS LEHETŐSÉGEI

Az ökoszitéma matematikai modellje leírja a mennyiségi összefüggéseket; a formulák lehetőséget nyújtanak arra, hogy a rendszer dinamikus működéséről (az időbeli folyamatokról) képet kapjunk. Természetesen - minthogy a sokféle összefüggés folytán egy bonyolult rendszerrel állunk szemben- "pontos" vagy "teljes" leírásról nem lehet szó, hanem csakis a rendszert többé-kevésbé jó közelítéssel leíró modellekről (mint a matematikai modellek esetében általában).

Amint azt már az előző pontban is említettük, a modellezés a Balaton-kutatás része; ami ugyanakkor nem függetleníthető a többi kutatástól. A kölcsönhatás kétoldalu: egyrészt a biológiai, hodrológiai stb. kutatások olyan részleteket tárnak fel, amelyek eredményét a modellbe építve javíthatjuk annak pontosságát; másrészt a modellben szereplő mennyiségek (egy-egy paraméterek, bizonyos folyamatokat leíró változók stb.) meghatározása olyan kérdéseket vet fel, amelyekre az egyes szaktudományok ma még nem tudnak válaszolni, de az ilyen irányú ismeretek fontosak lennének (természetesen nemcsak a modell szempontjából, hanem a helyes döntések meghozatalához is). Ennek révén tehát a modellezés irányt mutathat a szaktudományos kutatásoknak is.

A modellt arra használhatjuk fel, hogy rajta keresztül vizsgáljuk a modellezett rendszert. Megnézhetjük, hogy adott (külső és belső) körülmények mellett hogyan viselkedik a rendszer (pl. adott foszforterhelés és adott üledék foszfortartalom mellett hogyan változik az algák- vagy esetleg egyes fajaik - tömege); vagy: adott beavatkozásra hogyan válaszol a rendszer (pl. a foszforterhelés adott mértékű csökkentése mellett mennyi idő és milyen mértékben csökken a tó - vagy egyes tóterületek - trofitási szintje). Ezen túlmenően a modellt felhasználhatjuk arra is, hogy az eutrofizálódás szabályozásának leggazdaságosabb módszereit keressük.

Összefoglalva, a modellezés céljának a következő fontosabb feladatokat jelölhetjük meg:

- a modellezett rendszer működésének, nevezetesen az eutrofizálódás folyamatának a kvantitatív leírása (részenként és egészében egyaránt),
- a rendszer működésének, elsősorban a trofitási szintjének az előrejelzése,
- az eutrofizálódást csökkentő beavatkozások hatásának előrejelzése,
- a rendszer működésének szabályozása, illetve szabályozási alternatívák kidolgozása az eutrofizálódás csökkentésére.

(Ezek a célok a modellezés menetének fokozatait is jelentik, jelenleg az első cél megvalósításán dolgozunk.)

A rendszer vizsgálatát a modellen keresztül alapvetően kétféleképpen végezhetjük: egyrészt matematikai (elméleti) eszközökkel - mennyiségi és strukturális összefüggések levezetésével; másrészt számítástechnikai eszközökkel - számítógépes szimulációval. Előbbi esetben levezethetjük, kiszámíthatjuk, hogy adott feltételek mellett milyen mennyiségi viszonyok állnak fenn egy, két vagy esetleg több év múlva. Utóbbi esetben mindezeket gépi úton "empirikusan" számíthatjuk. A két módot egyidejűleg, egymást kiegészítve alkalmazhatjuk, bár a rendszer bonyolultsága folytán - úgy tűnik - a szimulációnak nagyobb szerepe van az ilyen vizsgálatokban.

Hangsúlyozni kívánjuk, hogy a modellezés nem helyettesítheti a rendszer direkt vizsgálatát, hanem csak kiegészítheti azt. Hiszen a modell és a benne megfogalmazott feltételek pontosságától függ az általa kapott eredmények megbízhatósága; és ezeket állandóan ellenőrizni kell: *a modell által kapott eredményeket a mérési adatokkal állandóan össze kell vetni.* Az összevetés eredményeként a modellt módosítani kell, majd újabb ellenőrzést kell végezni, és így tovább.

3. AZ EUTROFIZÁLÓDÁS MODELLEZÉSE

Valamely rendszer modellezésénél az első feladat a vizsgálat szempontjának és az adott szempontból lényeges vonások meghatározása. A Balatonra és annak üdülőtő jellegére nézve a legnagyobb veszélyt jelenleg az eutrofizálódás jelenti. Ezért - a Balaton-kutató szakemberek véleménye alapján - az ökoszisztéma modelljének kidolgozásában (legalábbis jelenleg és rövid távlatban) az eutrofizálódási folyamat leírására törekszünk. Mint az 1. pontban említettük, az eutrofizálódás az eredeti anyagforgalom zavara: a tóban a *tápanyag mennyisége* és ennek következtében bizonyos *élőlények mennyisége* növekszik. A fő kérdés tehát: mekkora tápanyagmennyiség mellett, mekkora élőtömeg alakul ki, vagy: mekkora tápanyagterhelés mellett, mekkora az élőtömeg szaporodása. Ezért *az eutrofizálódás modellezése elsősorban az anyagforgalom modellezését jelenti*, vagyis a modellnek anyagmérleg-egyenleteket kell tartalmaznia. Az egyenletekben mindazon anyagoknak, anyagformáknak és élőlénycsoportoknak szerepelni kell, amelyek ebben a forgalomban részt vesznek. A fő anyagformák: a szerves tápanyagok, a holt szerves anyag különféle formái, valamint az egyes élőlények megfelelő csoportjai.

Az anyagforgalomban szerepet játszó folyamatok alapvető formái pedig a szervesanyag termelése, átalakítása (fogyasztása, asszimilálása stb.) és lebontása. (Ennek alapelveit és az ennek alapján kapható legegyszerűbb modellt a PR-I -ben már kifejtettük.)

Természetesen az élőtömeg - tápanyag mennyiségi összefüggése nem kétváltozós, hiszen különféle élőlények különféleképpen fogyasztanak különböző tápanyagokat. Itt felmerül a kérdés, hogy a modellnek milyen részletezéssel kell tartalmaznia az egyes tápanyagformákat és az élőlények csoportjait.

A tápanyagok felvétele különböző körülmények (hőmérséklet, az egyes élőlények kora, állapota stb.) között különbözőképpen megy végbe. Ezenkívül a tó egyes részein más és más viszonyok uralkodnak. Más a helyzet a Keszthelyi öbölben, mint a Siófoki medencében; de mások a viszonyok a nyílt vízben, mint a parti zónában; sőt a mélységi viszonyokat is figyelembe kell venni, beleértve a fenéküledéket is, hiszen a tápanyag nagy része oda jut be és onnan kerül újra a vízbe.

Mindezeket tekintetbe véve, a modellnek a következő szempontokat kell tükröznie:

- az anyagforgalomban résztvevő anyagformák megfelelő részletezése,
- az anyagforgalomban szereplő folyamatok megfelelő részletezése,
- a tó és az egyes vízrészek jellemzőinek figyelembe vétele,
- a fenéküledék és a víz közötti anyagforgalom figyelembe vétele,
- a vízgyűjtőn történő események (mint bemosódás, csapadék-esemény stb.) figyelembe vétele.

Ennek megfelelően modellünkben az egyes anyagformákat *komponensek* és ezek *állapotváltozói* képviselik, a folyamatokat és mennyiségi összefüggéseiket pedig különböző függvényekkel írjuk le. A tavat több *víztestre* osztjuk és figyelembe vesszük a víz áramlását egyik víztestből a másikba.

Felmerül a kérdés, hogy az ökoszisztéma modelljében milyen részletesen szükséges és célszerű a fentieket megvalósítani (egyszerű vagy részletesebb modell kérdése). Hangsúlyozni kívánjuk, hogy a részletesebb modell nem okvetlenül képes pontosabban leírni a rendszert. Egyrészt azért nem, mert több változó és több paraméter helyes kalibrálása nehézségekbe ütközik, másrészt, mert sok adat és biológiai, kémiai stb. szakismeret hiányzik a pontosabb leíráshoz.

A nemzetközi tómodellezési szakirodalom sem egységes ebben a vonatkozásban. A legegyszerűbb, Vollenveider-féle formulától (26) (amely a víz nyári maximális klorofill-tartalma, a vízmélység és az átlagos vízkicserélődési idő, valamint a foszforterhelés között ad meg empirikus összefüggést) a 20-40 komponensből álló, sokparaméteres modellekig nagy a változatosság. Mindamellet, hogy a modellek többnyire csak egy adott tóra vagy szűkebb viztípusra érvényesek, a fentemlitett nehézségek miatt az egyes tavak ökológiai rendszerét csak közelítéssel képesek leírni.

A Balatonra változtatás nélkül egyetlen tómodell sem alkalmazható, a Balaton specifikus tulajdonságai miatt. Az általánosabb jellegű modellekből természetesen átvehetünk részeket (mint pl. R.A. Park modelljéből, (21), (23), amely munkánk kiinduló pontjával szolgált), de a kitűzött célnak megfelelő modellt a Balaton sajátosságainak megfelelően, valamint a már most rendelkezésre álló és a jövőben remélhető adatok alapján kell kialakítanunk; sőt nem egyetlen modell, hanem több változat vagy egy *modellsorozat kidolgozása* válik szükségessé.

Megjegyezzük, hogy bizonyos nagyságrendi becsléseket egyszerű számításokkal (akár modell nélkül, vagy egyszerű modellekkel) is lehet végezni, amelyek alapján műszaki szempontból értékes következtetéseket lehet levonni - amint ezt Jolánkai G. "Számítások és modellek szerepe tavak és tározók eutrofizálódás elleni védelmében" c. tanulmányában (1978. évi beszámoló IX. melléklet) részletesen kifejtette.

A következő pontban látni fogjuk, hogy jelenleg hol tartunk a kifejtett célok és elvek megvalósításában, mennyiben sikerült a Balaton említett sajátosságait a modellben tükröztetni; összehasonlítjuk egyszerűbb és összetettebb modellváltozatok, valamint egyes formulák előnyeit és hátrányait.

A célnak megfelelő, jól használható modell kidolgozása azonban nemcsak azon mulik, hogy a meglévő ismereteket és adatokat milyen mértékben vagyunk képesek beépíteni a formulákba és a paraméterekbe. Legalább ilyen fontos, hogy a tó további kutatásával a szaktudományok *ujabb ismereteket* nyújtsanak és *ujabb mérésekkel* több adat álljon rendelkezésre. *Ezért a modell fejlesztésének üteme erősen függ a szaktudományok előrehaladásától.*

4. A BEM MODELLEK ÉS RÉSZMODELLEK

Az előző pontokban megvilágítottuk munkánk hátterét: a kiindulásul szolgáló problémát, a Balaton eutrofizálódását; a modellezés szükségességét (hasznosságát), a modellek kidolgozásának általánosabb problémáit. Ebben a pontban rátérünk az 1978. évben eltért eredmények ismertetésére.

Mint említettük, modellünk jelenleg három részmodellből áll:

- viztest modell
- viz-üledék tápanyagforgalom modellje
- tápanyagterhelés modellje.

4.1. A BEM-1 modell és változatai:

Emlékeztetőül (részletes magyarázat nélkül) megadjuk a PR-1 -ben tárgyalt BEM-1 modell formuláit:

az élők biomasszájának (mg/l szárazanyag) változását leíró differenciálegyenletek:

$$\begin{aligned} \text{alga:} \quad \dot{B}_A &= \text{PROD} - \text{RES}_A - \text{EXCR}_A - \text{MORT}_A - \text{GRAZ}_A \\ \text{zooplankton:} \quad \dot{B}_Z &= \text{UPT}_Z - \text{RES}_Z - \text{EXCR}_Z - \text{DEF}_Z - \text{MORT}_Z - \text{GRAZ}_Z \\ \text{halak:} \quad \dot{B}_F &= \text{UPT}_F - \text{RES}_F - \text{EXCR}_F - \text{DEF}_F - \text{MORT}_F \\ \text{lebontók:} \quad \dot{B}_D &= \text{UPT}_D - \text{RES}_D - \text{EXCR}_D - \text{MORT}_D - \text{GRAZ}_D \end{aligned}$$

ahol

$$\text{a szervesanyagtermelés: } \text{PROD} = \text{P}_{\text{MAX}} \cdot \min(U_P, U_N, U_L) \cdot \text{TEMP}_A \cdot B_A$$

$$\text{P limitáló tényezője: } U_P = C_P / (\text{HC}_P + C_P)$$

$$\text{N " " : } U_N = C_N / (\text{HC}_N + C_N)$$

$$\text{fénykioltási tényező: } \beta = \text{EXT} + \text{EXT}_A \cdot B_A$$

fény limitáló tényezője: $U_L = \frac{1}{\beta Z} \log \frac{HL + L_0}{HL + L_z}$ $L_z = L_0 \cdot e^{-\beta Z}$

táplálékfogyasztás: $UPT = \sum \text{CONS}_{ij}$

$$\text{CONS}_{ij} = \text{CMAX}_j \cdot \text{TEMP}_j \cdot \frac{B_i \cdot B_j}{B_i + B_j}$$

ragadozottság: $\text{GRAZ} = \sum \text{CONS}_{ij}$

respiráció: $\text{RES} = \text{RMAX} \cdot \text{TEMP} \cdot B$

exkréció: $\text{EXCR} = \text{EMAX} \cdot \text{TEMP} \cdot B$

defekáció: $\text{DEF} = \text{DR} \cdot \text{UPT}$

mortalitás: $\text{MORT} = \text{MCRIT} - (\text{MCRIT} - \text{MOPT}) \cdot \text{TEMP} \cdot B$

hőmérsékleti limitáló tényező: $\text{TEMP} = \text{Ve}^{1-v}$ $v = \frac{(\text{TCRIT} - T)^+}{\text{TCRIT} - \text{TOPT}}$

a holt anyagok vízben levő koncentrációjának (mg/l) változását leíró differenciálegyenletek:

foszfor: $\dot{C}_P = \text{EX}_P - \text{PHUPT}$

nitrogén: $\dot{C}_N = \text{EX}_N - \text{NUPT}$

oldott szerves anyag: $\dot{C}_{\text{DOM}} = \text{EX}_{\text{DOM}} + \text{DMORT} - \text{DUPT} + \text{HIDR}$

formált szerves anyag: $\dot{C}_{\text{POM}} = \text{PDEF} + \text{PMORT} - \text{PUPT} - \text{HIDR}$

ahol

exkretált anyag: $\text{EX} = \sum \text{EXR}_{ij} \cdot \text{EXCR}_i$

defekált anyag: $\text{PDEF} = \text{DEF}_Z + \text{DEF}_F$

elhalt anyag: $PMORT = \sum PMR_i \cdot MORT_i$
 $DMORT = \sum DMR_i \cdot MORT_i$

elfogyasztott anyag: $PHUPT = PR \cdot PROD$
 $NUPT = NR \cdot PROD$
 $DUPT = \sum CONS_{ij}$
 $PUPT = \sum CONS_{ij}$

POM oldódása: $HIDR = HMAX \cdot TEMP_{POM} \cdot C_{POM}$

I. BEM-1.1 változat, fénylimitálási tényező változtatása

(2 futás, összesen 7 perc nettó idő). A BEM-1 modellben végül is megkaptuk az egyes anyagformák mennyiségeinek szezonális ingadozását (amint ezt a PR-1 -ben, illetve a mellékelt gépi eredményekből láthatjuk). A kapott görbék javítására mindenekelőtt fénylimitáló tényezőt változtattuk meg. Eredeti képletünk Michaelis-Menten típusu fénylimitálást eredményez (ezt használja a Jörgensen modell (8) is), ami magas fényerősség esetén nem limitál, vagyis ez a formula nem veszi figyelembe a fénygátlást. Az

$$U_L = \left[\exp\left(1 - \frac{L_z}{LOPT}\right) - \exp\left(1 - \frac{L_o}{LOPT}\right) \right] / \beta Z$$

formula esetén LOPT fényerősség nem limitál, ennél kisebb és nagyobb fényerősség pedig limitál. (Ez a formula szerepel a Park-modellben is.) A görbéken lényeges változást nem kaptunk; a biomassza értékek nyáron magasak, télen alacsonyak.

II. BEM-1.2. változat, mortalitás változtatása

(9 futás, összesen 39 perc gépidő). A mortalitás eddigi képletével magas mortalitást kaptunk TOPT-tól eltérő alacsony és magas hőmérséklet esetén egyaránt. A biológiai törvényszerűségeknek jobban megfelel, ha a mortalitás a hőmérsékletnek exponenciális függvénye:

$$\text{MORT} = \text{MMIN} \frac{\text{TCRIT} - T}{\text{TCRIT} - \text{TMIN}} \cdot B$$

Itt MMIN jelenti az egységnyi biomassa 1 nap alatti mortalitását $T=\text{TMIN}$ esetén; $T=\text{TCRIT}$ esetén pedig $\text{MORT}=B$.

Ilymódon elértük, hogy június, július táján a biomassa értékek csökkentek és kialakult egy tavaszi és egy őszi csucs. Ezek az eredmények a valóságos helyzetet már jobban megközelítik. A nyári biomassa-csökkenés annál jobban jelentkezett, minél magasabbra választottuk a PMAX és CMAX értékeket. A mortalitás csökkentésére a halak és a zooplankton biomasszája érzékenyebb volt: nyáron nagyobb mértékben csökkent, mint az algáké.

4.2. A BEM-2 modell.

A hidrológus szakemberek felvetették, hogy - mivel a Balaton alapvetően detritus képző rendszer, a zooplankton és a halak tömege (és fogyasztása) elenyésző részét teszik ki az algákénak - célszerű a modellben csak az elsődleges termelés és a lebontást figyelembe venni. Ezért a komponensek számát lecsökkentettük ötre: foszfor, nitrogén, holt szerves anyag, algák és lebontók. Ezzel az egyszerűsítéssel megszűnt sok olyan paraméter és folyamat, amelyről vagy egyáltalán nem álltak rendelkezésre adatok, vagy a róluk szóló ismeretek eléggé bizonytalanok voltak. Egyetlen szervesanyag-komponens bevezetésével megszűnt a HIDR formula, amely a formált

szervesanyag oldódását írja le. Erről a folyamatról a Balaton-víz körülményei között nem sokat tudunk. Ezenkívül a lebontók a vízben oldott szervesanyagon kívül formált szervesanyagot is fogyasztanak, megtelepedve annak felületén. Természetesen ezt a fogyasztást képviselő UPT formulát még így is csak durva közelítésként szabad tekinteni.

Az egyenletek lényegében azonosak maradtak. Az összevont szervesanyag egyenlete a következőképpen egyszerűsödött:

$$\dot{C}_{OM} = EX_{OM} + MORT_D + MORT_A - UPT_D.$$

A "zsákmánnyá válás"-t jelképező GRAZ tagot a biomasszával arányosnak vettük az algáknál és a lebontóknál egyaránt:

$$GRAZ = GR \cdot B.$$

(Ez az egyszerűsítés megengedhető, mert - mint említettük - a plankton-fogyasztás a Balatonban elenyésző, így ez a tag, kicsiny arányossági tényezővel számolva, nem befolyásolja lényegesen a biomassa értékét.)

A futtatások közben áttekinthetőbbé tettük a mortalitás képletében szereplő exponenciális függvényt:

$$MORT = MCRIT \cdot MR^{T-TCRIT} \cdot B,$$

amelyben az MCRIT állandó a TCRIT hőmérséklet melletti mortalitást fejezi ki.

A BEM-1 modellben a tápanyagterhelés és kifolyás értékeit zérusnak vettük a viztestet zárt rendszerként vizsgáltuk. Most, a BEM-2 modellben bevezettük a foszfor és nitrogén egyenleteibe a be- és kiáramlást jelképező INFLOW és OUTFLOW tagokat (előbbit hozzáadva, utóbbit levonva az egyenletek jobboldalából). A tápanyagterhelésre állandó értéket vettünk fel:

$$\text{INFLOW} = \text{IFL (konstans)},$$

a kiáramlást pedig arányosnak vettük a tápanyag vizbeli koncentrációjával:

$$\text{OUTFLOW} = \text{OFLR} \cdot \text{C}$$

(ez állandó sebességű vizáramlást tételez fel).

A tápanyag be- és kiáramlásán kívül a foszfornek az üledékbe jutását is figyelembe kívántuk venni. A Balaton-kutató szakemberek szerint a foszfor főként a mészhez kötődve ülepszik, a mész nagyrésze pedig biogén eredetű, az algák elsődleges termelésekor szabadul fel. Ezért az ülepedést jelképező SED tagot nemcsak a foszforkoncentrációval, hanem az elsődleges termeléssel is arányosnak vettük:

$$\text{SED}_P = \text{SR}_P \cdot \text{C}_P \cdot \text{PROD}$$

és ezt levontuk a foszfor egyenletének jobboldalából.

A későbbiek folyamán természetesen a viz-üledék foszforforgalom és a vízgyűjtőről jövő tápanyagterhelés részmodelljeinek a viztest-modellhez kapcsolódásával ezeket a tagokat pontosabbá fogjuk tenni.

A BEM-2 modell programját összesen 37 alkalommal futtattuk (80 perc nettó gépidővel), különböző paraméterértékek mellett. A paraméterek változtatásának célja az volt, hogy az alga biomassa évi változása nagyságrendben és jellegben megegyezzen a Keszthelyi-öbölben 1973. évben mért biomassa-adatsorral (Herodek Sándor mérései).

Az első futásoknál a foszfor-kifolyást kellett kalibrálni. Kb. 0,001 mg/l/nap befolyás mellett ülepedés nélkül 0,02-0,03 mg/l/nap kifolyás mgP/nap bizonyult elfogadhatónak. Ha ülepedést is számításba vettünk, akkor az algák mennyisége nyáron jobban lecsökkent, így a tavaszi és őszi csucs élesebben jelentkezett. Ez arra utal, hogy az alga biomassa ilyen módon történő szezonális változásáért a foszfor ülepedése a felelős.

Az alga biomassa értéke, a mérések tanúsága szerint, áprilisban és augusztusban a legmagasabb, télen és június-júliusban pedig alacsonyabb. A modellel ezt az alga biomassa adatsort elsősorban az elsődleges termelés és a mortalitás paramétereinek (PMAX, HC, MMIN, MR, MCRIT) kalibrálásával igyekeztünk megkapni. Legfőképpen az exponenciális függvény meredekségét meghatározó MR paraméter beállítása okozott nehézséget, t.i. ennek kis-mértékű változtatásával is a mortalitás (MORT) erősen változott, tehát a modell a mortalitásra igen érzékenynek bizonyult.

Végül is sikerült elérni, hogy a modellben az alga biomassa tavaszi csucsa áprilisra, a nyári legalacsonyabb értékek júniusra kerüljenek. Az őszi csucsot azonban csak szeptember végére, október elejére sikerült beállítani (augusztus helyett). A fő probléma itt az volt, hogy a két csucs egyidejűleg változott (ha az őszi csucsot előre hoznánk, akkor a tavaszi csucs későbbre esne). Tekintetbe véve, hogy több körülményt adatok hiányában nem volt módunk a modellben figyelembe venni (pl. a

foszforterhelés pontos értéke és évi ingadozása, a víz és üledék közötti foszfor-forgalom nagysága stb.), úgy véljük, hogy a *BEM-2* modell viszonylag tűrhetően reprodukálja a Keszthelyi öböl 1973. évi trofitási állapotát.

4.3. A BEM-3 modell és változatai.

A BEM-2 modell a tavaszi, nyári és őszi alga-biomasszára elfogadható értéket adott, de egyrészt a tavaszi és őszi csúcst csak együtt tudtuk változtatni, másrészt a téli értékek túl alacsonyak voltak. Ezen problémákat - a hidrobiológus szakemberek szerint - legegyszerűbben két alga-komponens, *hidegtűrő és melegkedvelő algák* bevezetésével lehet megoldani. A két alga - komponens produkciós és hőmérsékleti paraméterekben különbözik egymástól.

A modellt két változatban vizsgáltuk: egyik változatban az egyenletek megegyeznek a BEM-2 modell egyenletével, azzal a különbséggel, hogy öt helyett hat egyenlet szerepel (a két alga-komponens egyenlete formailag megegyezik, de a paramétereik értékei különbözőek), a másik változatban néhány formulát adatsorokkal helyettesítettünk.

I. BEM-3 változat

(28 futás, 122 perc nettó gépidő). A hidegtűrő algák P_{MAX}, T_{OPT}, T_{CRIT} paramétereit lényegesen alacsonyabbra vettük, mint a melegkedvelőkét. Néhány szimulációs futás-kor azonban ezek túl alacsonyaknak bizonyultak, t.i. a hidegtűrő algák a téli, tavaszi időszak után (a szimulációt január 1-ével indítottuk), kihaltak és a következő télre és tavaszra nem kaptunk értékelhető biomassza értékeket. A hidegtűrő algák biomasszája a második szimulált évben akkor volt az első évihez hasonló, ha a *PROD*, HC_P

és HC_N paramétereik értéke összhangban volt egymással. Ilyenkor a csúcserték mindig áprilisra esett, ami tehát megfelel a méréseknek.

II. BEM-3.1. változat.

(22 futás, 50 perc nettó gépidő). Az eddig ismertetett modell-vizsgálatokban mérési adatokat közvetlenül nem használtunk fel. A paramétereknek is csak a nagyságrendjét volt módunkban a mérések alapján közvetlenül vagy közvetett uton meghatározni, *kalibrálásukat a modell által szolgáltatott eredmények alapján végeztük*, amint ezt az előző pontokban láttuk és ebben a pontban is látni fogjuk. Az év folyamán megkezdődött a Balatonra vonatkozó adatok szisztematikus összegyűjtése a modellezés számára és így alkalmunk adódott ezek felhasználására a modell futtatásai során. Első lépésként az időjárással kapcsolatos adatokkal: a fényerősséggel, a vízhőmérséklettel és a víz fénykioltási együtthatójával dolgoztunk a viztest modellben. Az Országos Meteorológiai Szolgálat méréseiből származó napi globális sugárzás és vízhőmérséklet adatait a modellben a víz felszínén érvényes L_0 és a T változókhoz, a Herodek Sándor által Szemesen, az algabiomasszával egyidejűleg, kb. kéthetenként mért fénykioltási együtthatókat pedig a β változóhoz használtuk fel.

Egy meghatározott időszakból származó adatokkal dolgozva, a modellt abból a szempontból kívántuk vizsgálni, hogy a számított eredmények, elsősorban az alga biomassa és az elsődleges termelés milyen jól közelítik meg a mért értékeket olyankor, amikor a számítások csak a belső változókra terjednek ki, (a külső hatótényezők nagy részét az adatok szolgáltatják). Ezzel is a modell megbízhatóságára illetve arra a kérdésre keresünk választ, hogy a modell mely pontjain szorul leginkább módosításra.

Ily módon tehát a szimulációban a viztestnek a Szemesi medencét tekintettük, a szimulált időszaknak pedig az 1976. április 7-től 1977. április 7-ig terjedő egy éves időtartamot tekintettük, mivel az alga biomassza és a fénykioltási együttható mérése Szemesen ebben az időszakban történt. Az említett változók értékeit a mérési napokon a mért adatokkal vettük egyenlőnek, a közbülső időpontokban pedig lineáris interpolációt végeztünk:

$$x_t = x_{t_i} + \frac{t - t_i}{t_{i+1} - t_i} (x_{t_{i+1}} - x_{t_i}); \quad (t_i < t < t_{i+1})$$

ahol t_1, t_2, \dots, t_n a mérések időpontja (x a szóbanforgó változó).

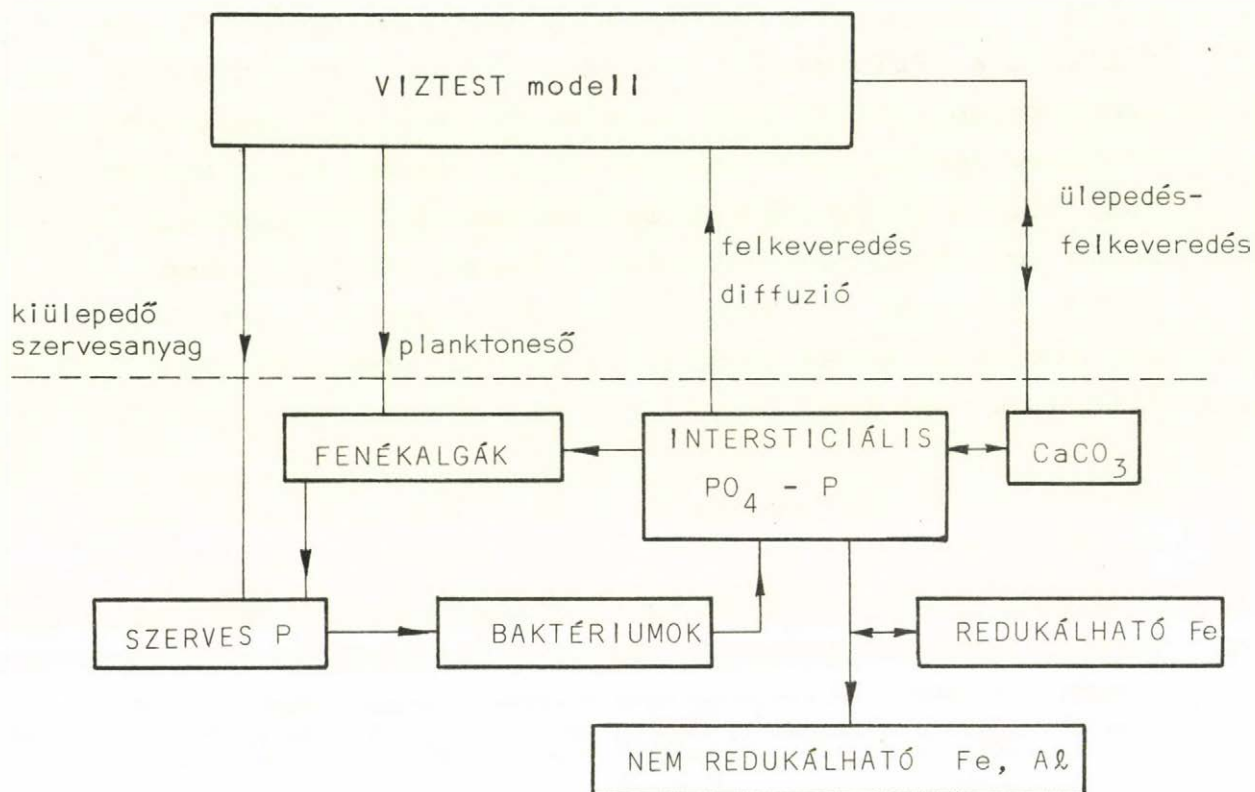
A szimulációs futtatások során a két alga-komponens paramétereit kalibráltuk. A melegkedvelő algák biomasszája többnyire július-augusztusban az év 180.-260. napja között ért el maximumot. A mérésekben a csucs a 250. napon 0,6 mg/l volt, amit - az első futtatások magas (1-3 mg/l) értékei után végül - sikerült megközelíteni. A hidegtűrő algák tömege az első szimulált évben, áprilisban (az év 100.-130. napján) volt magasabb, mely időpont megegyezik az 1976. évi mérésekkel, és amelynek nagyságrendjét is sikerült reprodukálni az utolsó futások során. A második évi tavaszi csucsot nehezebben kaptuk meg nagyságrendben és időpontban egyaránt, végül azonban jó közelítést értünk el. Az elsődleges termeléssel hasonló volt a helyzet: az első futásoknál magas, végül jól közelítő értékeket kaptunk. A végeredmény a 2. ábrán és a B.) függelékben látható.

4.4. Az üledék foszforforgalma és a viz-üledék tápanyagcsere

A Balaton sekély jellege és gyakori hullámozása következtében a vízben termelődő és lesüllyedő szervesanyag nem válik ki a körforgásból, hanem a fenéken lebomolva túlnyomó része újra és újra visszakeveredik. Ez természetesen gyorsítja az eutrofizációt. Ezzel ellentétesen hat, hogy a tó üledéke erősen meszes. A fotoszintézis során keletkező nagy mennyiségű biogén mészes a vízben levő - az algák számára tápanyagul szolgáló - ortofoszfát jelentős részét megköti és ezáltal foszfáthiányos állapotot idéz elő.

Durva becslés szerint felkeveredésenként 1-2 tonna ortofoszfát kerül ki a nyílt vízbe. Ez nagyságrendileg megegyezik az azonos időszak alatt érkező külső terheléssel. Hasonló mondható a diffúzióval a vízbe kerülő ortofoszfátról. A CaCO_3 foszfát-adszorpciós képességére jellemző, hogy a víz ortofoszfát koncentrációja állandóan 2-3 $\mu\text{g/l}$ körül mozog, ami igen alacsony. Jég alatt viszont, mikor a mészes kiülepszik, az ortofoszfát koncentráció 10 $\mu\text{g/l}$ körül mozog, sőt, az erősen eutróf területeken, ahol az üledék szervesanyagban gazdagabb elérheti a 30 $\mu\text{g/l}$ -t is. Mivel az említett folyamatok az üledéken keresztül fejtik ki hatásukat, ezért elengedhetetlen az üledékben lejátszódó jelenségek beható tanulmányozása. Az ezekre vonatkozó szaktudományos ismeretek meglehetősen hiányosak. Az irodalom túlnyomó részét nagy számú mérés alapján felállított tapasztalati összefüggésekkel dolgozik. Ilyen adatsorok a Balatonról egyelőre nem állnak rendelkezésre és más tavakra felállított összefüggések nem vehetők át a Balaton sajátos vízkémiai viszonyai miatt. Ezért egy olyan modell kidolgozását tűztük ki célul, melynek fő feladata, hogy lehetőséget nyújtson különböző hipotézisek vizsgálatára, párhuzamosan fejlesztve a szaktudományos ismeretek gyarapodásával.

A modell sémája a következő:



A modellnek a viztestmodell szempontjából arra kell választ adnia, hogy mikor mennyi ortofoszfát ill. CaCO_3 keveredik a vízbe. Ez részletesebben kifejtve a következő kérdések megválaszolását jelenti:

- 1.) egy felkeveredést követő nyugalmi periódusban mennyi idő alatt és milyen koncentrációra töltődik fel az intersticiális víz ortofoszfáttal;
- 2.) mi történik, ha közben az üledékben anaerob körülmények lépnek fel;
- 3.) mi történik felkeveredéskor.

Röviden felsoroljuk fő feltételezéseinket és az ezeket leíró összefüggéseket.

- a.) Első közelítésben, mivel az üledék szervesanyag koncentrációja nagyon lassan változik, a "baktériumok" \rightarrow "intersticiális Po_4P " lebontási folyamat sebességét állandónak vesszük ($b(t) = b$). Feltesszük továbbá, hogy az intersticiális vizből adott pillanatban az összes uton távozó ortofoszfát mennyisége, $f(t)$ arányos a pillanatnyi koncentrációval:

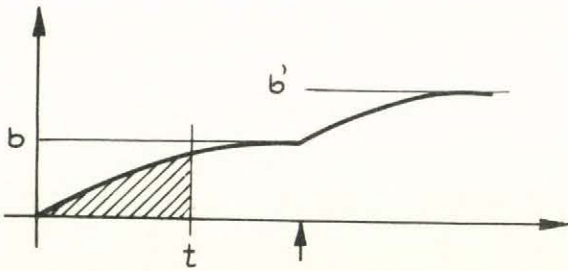
$$f(t) = K \int_0^t (b(y) - f(y)) dy$$

(a 0 időpillanatban volt felkeveredés). Innen

$$f(t) = b - b e^{-Kt}$$

és az egyensúlyi ortofoszfátkoncentráció $1/K$ (független a bakteriális bomlás sebességétől). A K arányossági tényező az üledék összetételének ($\text{Fe}, \text{Al}, \text{CaCO}_3$, szervesanyagtartalom) függvénye.

- b.) A bakteriális bomlás következtében és fotoszintézis hiányában egy idő után a körülmények anaerobbá válnak. Ennek bekövetkezése jelenleg csak az eltelt idő és a fenékalga / fenékbaktérium hányados függvénye. Anaerob körülmények között a megkötődési folyamatok megváltoznak. A CaCO_3 -hoz és a redukálható vashoz kötődött ortofoszfát kioldódása megkezdődik, így egy magasabb egyensúlyi ortofoszfát koncentráció alakulhat ki az intersticiális vízben. A folyamatot ugyanolyan jellegűnek képzelhetjük, mint az anaerob esetben.

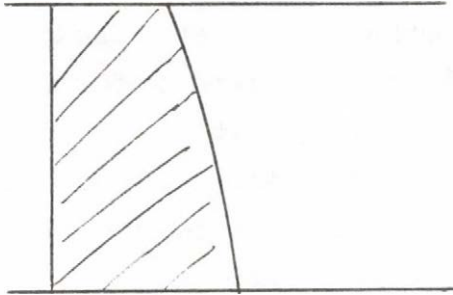


a t időpontig felgyülemelő
ortofoszfát:

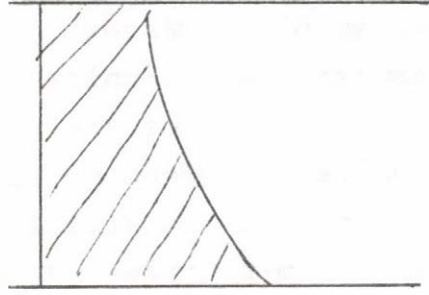
$$bt - \frac{b}{K} + \frac{b e^{-Kt}}{K}$$

t_0 : anaerob körülmények fellépte

- c.) A felkeveredést úgy képzeljük el, hogy bizonyos szélerősségen felül a fenékalga és az intersticiális $\text{Po}_4\text{-P}$ átkerül a víztest megfelelő komponensébe, továbbá CaCO_3 kerül a vízbe. Ez utóbbi mennyiségét együttes szél-lebegőanyag tartalom mérések alapján becsüljük.
- d.) Az a.) pontban a bakteriális bontás sebességét az üledék szervesanyagtartalmából becsüljük, mivel nem állnak rendelkezésünkre részletesebb üledékalga ill. üledékbaktérium mérések. Az üledékben található fenékalga - szerves P - baktérium - intersticiális $\text{Po}_4\text{-P}$ kör a víztestbeli alga - szerves P - baktérium - ortofoszfát kör megfelelője és teljesen hasonló egyenletek írják le Ennek a körnek a jég alatti időszakban van jelentősége, mivel egyébként az üledékben fény hiányában nem élnek algák.
- e.) Az ismerttetett modelltől függetlenül egyes kérdések vizsgálatára külön modellt készítünk. Ilyen az ortofoszfát függőleges eloszlását vizsgáló modell. Dobolyi Elemér mérései között szerepel az ortofoszfát koncentráció mérése az üledék felső 30cm-ében 5 cm-ként. Felmerül a kérdés, hogy az így nyert profilok milyen bakteriális bomlásnak felelnek meg az egyes mélységekben.



a.)



b.)

A probléma abban áll, hogy egyensúlyi helyzet csak az a.) ábrán látható profilt adhat, míg a mérések között a b.) típus dominál. Programunk adott profilhoz megkeresi azokat a lehetséges lebontási eloszlásokat, melyek egy adott időpontban a kívánt profilt eredményezik. A kérdés azért érdekes, mert különböző mélységekben a szervesanyaglebontás különböző fázisai zajlanak és bizonyos folyamatok csak speciális körülmények között mennek végbe. Így a tápanyag visszakerülésének sebessége nagy mértékben függ attól, hogy szervesanyag készlet milyen formában van. Az e.) pontban ismertetett modellt már különböző profilokra futtattuk. Az eredmény próbája azonban csak részletes baktérium ill. szervesanyag koncentráció mérések birtokában végezhető el.

4.5. A vizgyűjtőről jövő tápanyagterhelés modellje.

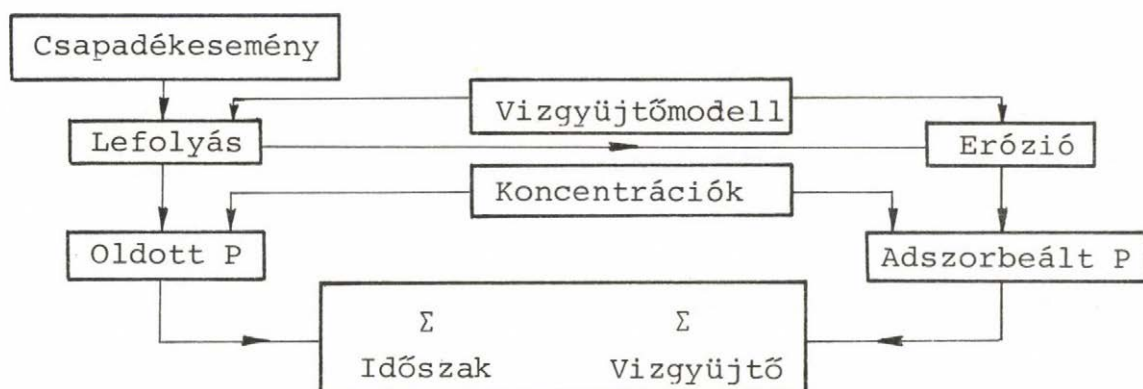
A Balatonba a tápanyag legnagyobb része a vizgyűjtőről kerül be, ezért ennek a folyamatnak a megismerése és modellezése alapvetően fontos, hiszen az ökoszisztéma-modell nélkül nem lehet képes reális előrejelzéseket szolgáltatni.

Munkánk során első lépésként a tó foszforterhelését vizsgáltuk. A foszforforrásokat két csoportra osztjuk: pontszerű szennyezőforrásokra (ipari és állattartó

telepek szennyvize, csatornázott kommunális szennyviz) és területi bemosódásra, ami egyrészt a mezőgazdasági művelésből, másrészt a nemcsatornázott településektől származik. Az előbbiekről általában kielégítő információ áll rendelkezésre, itt csupán a vizgyűjtőn való levonuláskor végbemenő folyamatok (ülepedés, feldusulás) módosító hatását kell figyelembe vennünk. A továbbiakban csak a nem-pontszerű szennyeződésekkel foglalkozunk. Mivel a tó élővilága számára hozzáférhető foszforvegyületek pontos összetétele még nem ismert, a terhelés-modell egyelőre a tóba jutó összfoszformennyiséget méri.

A foszfortápanyag mennyiségének meghatározását két szinten látjuk indokoltnak: i) a foszforterhelés egy éven belüli ingadozásának modellezése; ii) az éves foszforterhelés változásának modellezése. A tóba jutó foszforvegyületek egy része eleve nem oldott (tehát az algák számára közvetlenül nem hasznosítható), másrészt az oldott foszfor tulnyomó része is valószínűleg kicsapódik és a már eredetileg sem oldott foszforral együtt gyorsan leülepszik. Az üledék foszfortartalma jelenleg már sokkal nagyobbnak látszik annál, semhogy akármekkora rendkívüli szennyezésre is számottevően reagáljon, vagyis a foszforterhelés rövidtávu ingadozásainak a balatoni ökoszisztémára gyakorolt hatása elhanyagolhatónak tűnik. Hogy mégis foglalkozunk i-típusú modellezéssel, annak az az oka, hogy egyrészt a ii-típusú modell elkészítéséhez megfelelő ismeretek hiányában egyelőre nem látunk más utat, mint a foszfor Balatonba kerülésének részletes szimulációját, másrészt a későbbiek folyamán az egyes védekezési módok várható hatásainak becsléséhez amugy is szükség lesz ilyen modellre. Kiinduló modellünk a nem-pontszerű mezőgazdasági terhelés modellje. Mivel a foszforterhelést - a vizgyűjtőn levő foszfor mellett - elsősorban a csapadék befolyásolja, ezért modellünk véletlen csapadékeseményeken alapul,

a következő blokséma szerint:



A csapadékesemények két valószínűségi változóval, a csapadék mennyiségével (RF) és időtartamával (RD) jellemezhetők, és együttes eloszlásuk az irodalom szerint jól közelíthető gamma-eloszlással (melynek paramétereit a hónapokkal változóknak vettük). Az egyes csapadékesemények között eltelt időt (ET) exponenciális eloszlásnak vettük. (Az eloszlások paramétereit a rendelkezésünkre álló csapadékidősorokból maximum likelihood módszerrel becsültük). Ezek és a szóbanforgó vizgyűjtő jellemző adatai (mint pl. a növényzettel való borítottság, átlagos lejtőszög, a talaj elnyelési képességét, a mezőgazdasági művelés jellegét jellemző konstansok stb.) alapján számítjuk a csapadékesemény indukálta lefolyást (RO) és az erodeált talaj mennyiségét (SY). Ezeket a megfelelő koncentrációkkal (C_{DP} ill. C_{AP}) szorozva nyerjük a tóba kerülő oldott ill. adszorbeált foszfor mennyiségét (DP, AP):

$$RO = \frac{K_1 \cdot RF}{RF + K_2}, \quad DP = C_{DP} \cdot RO,$$

$$SY = K_3 \cdot \left(\frac{RO^2}{RD + K_4} \right)^{K_5}, \quad AP = C_{AP} \cdot SY,$$

ahol K_1, \dots, K_4 a vizgyűjtőjellemezők, K_5 univerzális állandó. Végül ezeket egy adott időszakra és különböző vizgyűjtőkre összegezve, valamint hozzáadva az alaplefolrásból és pontszerű forrásokból származó mennyiséget, nyerjük az egész tó terhelését.

A modell kritikus pontja a koncentrációk meghatározása. A rendelkezésre álló adatok analízisével azt találtuk, hogy a koncentrációk eloszlása lognormálisnak vehető és feltehető, hogy független a vízhozamtól.

A szimulációt egyelőre a Tetves patak vizgyűjtőjére végeztük el egyrészt, mert itt álltak megfelelő adat-sorok rendelkezésre, másrészt pedig a patak által szállított foszfor nagy része területi bemosódásból származik (jelentős pontszerű szennyezőforrás nincs a környéken). A Tetves vizgyűjtője azért is alkalmas kalibrálásra, mert elég kis terület ahhoz, hogy a modell feltevései teljesüljenek rá. A szimulációt egy évre végeztük. Ilyen módon a nyert oldott foszfor összmenyisége kb. 10%-kal haladta meg a vártat. Ez - a foszfor mérésénél fellépő bizonytalanságot is figyelembe véve - elég jó eredménynek mondható, ami a paraméterek kalibrálásával tovább javítható. A modell fejlesztésének irányai a következők:

- a lefolyás és befolyás közti veszteséget figyelembe fogjuk venni;
- a koncentrációk ingadozásait magyarázó tényezőket kell keresnünk, s ezeket a modellbe beépíteni

(pl. utolsó műtrágyázás időpontja; a lakosság száma);

- próbálkozni fogunk a napi ingadozást leíró sztochasztikus modellel;
- figyelembe kívánunk venni egyéb forrásokat is (a légkörből közvetlenül bejutó foszfor, hóolvadás);
- a modell alkalmassá tétele nagyobb vizgyűjtőkre.

5. A BEM MODELL SZIMULÁCIÓS PROGRAMJA

5.1. A viztest-modell futtatásához a szimulációs programot több szempontból fejlesztettük. A szimulációt három fázisra osztottuk.

- a.) *Előkészítő fázis.* Ez a fázis olvassa be és áttekinthető táblázatos formában írja ki a modell-paramétereket. Általánosan, azaz tetszőleges modellváltozatra működik. A modellt és paramétereit egy *paramétertáblázat* írja le. Új modellváltozat esetén csak ezt a táblázatot kell módosítani.
- b.) *Szimulációs fázis.* Ez a fázis hajtja végre a szimulációt, tetszőlegesen megadható időszakokra. Abból a célból, hogy a program jobban tükrözze a modell strukturáját, a programban is bevezettük a "komponens" és "részrendszer" fogalmát, amelyek attributumként tartalmazzák saját paramétereiket és változóikat, továbbá a szimuláció során minden lépésben egymásnak adják a vezérlést. A bemenő adatsorok leolvasását az adott időpontokban megfelelő "diszkrét esemény objektumok" végzik. (A program SIMULA nyelven készült, kihasználva a nyelv által nyújtott lehetőségeket.)
- c.) *Eredményszolgáltató fázis.* Ez a fázis írja és rajzolja (tetszőlegesen megadható időközönként) az eredmény idősorokat (görbéket). Bármely változó, bármely csoportosításban kiírható. A program általánosan működik, az adott modellváltozatot leíró *változó-táblázat* alapján.

5.2. A vizgyűjtő-modell programjában a csapadék-események szimulálása és a foszforkoncentrációk előállítása a megfelelő eloszlású véletlen számok generálásával történik. A szimulációt jelenleg 1 éves időszakra végezzük. A program havonként beolvassa az eloszlások paramétereit és csapadék-eseményenként számolja a foszfor-bemosódást és adszorpciót. A program output-ként a kapott értékekből napi foszfor-mennyiségeket határoz meg a viztest-modell számára.

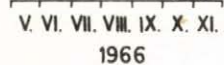
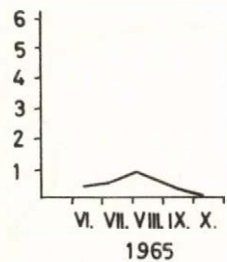
IRODALOMJEGYZÉK

- [1] L. Bengtson: Wind induced circulation in lakes.
Nordic Hydrology 9. pp. 75-94 /1978/
- [2] C.W. Chen, G.T. Orlob: Ecologic Simulation for Aquatic
Environments, in Systems Analysis and Simulation
in Ecology vol. III. /ed. B.C.Patten/ Acad.Press.
1975. pp. 476-588.
- [3] D.M.-DiToro, D.J.O'Connor, R.V. Thomann, J.L.Mancini:
Phytoplankton-Zooplankton-Nutrient Interaction Model
for Western Lake Erie, in Systems Analysis and
Simulation in Ecology vol. III. /ed.B.C.Patten/
Acad.Press, 1975. pp. 424-745.
- [4] H.L. Golterman: Physiological Limnology, Elsevier
Amsterdam, 1975.
- [5] O. Gyöke: A Balaton mederalakulására mérvadó vizmozgás
és hordalékvándorlás a tó délnyugati részében.
VITUKI jelentés, 1975.
- [6] R. Haines, D.K. Leung: MS. Cleaner Documentation,
Version 2.15 /Ref.Man.1975/
- [7] Herodek S., Tamás G.,: The primary production of
phytoplankton in the Keszthely-basis of Lake
Balaton in 1973-74,
Annal,Biol.Tihany, 1975, pp. 175-190.
- [8] S.E. Jorgensen: A Eutrophication Model for a Lake,
Ecological Modelling, 2/1976/ pp. 147-165.
- [9] S.E. Jorgensen, H. Mejer, M. Triis: Examination of a
Lake Model, Ecological Modelling 4/1978/ pp 253-278.

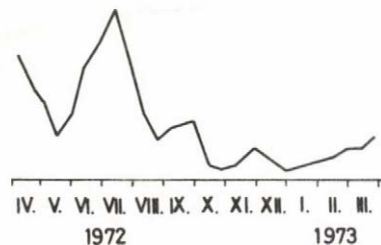
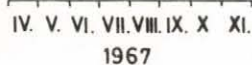
- [10] S.E. Jorgensen, L.Kamp-Nielsen, O.S. Jacobsen:
A submodel for anaerobic mud water exchange of
phosphate. Ecol.Modelling 1. 133-146 /1975/.
- [11] L. Kamp-Nielsen: A Kinetic Approach to the Aerobic
Sediment Water Exchange of Phosphorus in Lake Esrom.
Ecological Modelling 1. 153-160. /1975/.
- [12] L. Kamp-Nielsen: Mud Water Exchange of Phosphate and
other Ions in Undisturbed Sediment Cores and Factor's
Affecting the Exchange Rates. ARch. Hydrobiol. 2.
218-237 /1973/.
- [13] H.P. Kozerski: Ein einfaches mathematisches Modell für
den Phosphoraustausch zwischen Sediment und Frei-
Wasser. Acta Hydrochim. Hydrobiol. 5.1. 53-65 /1977/.
- [14] D.C.L.Lam, J.M.Jacquet: Computations of Physical
Transport and Regeneration of Phosphorus in Lake
Erie, Fall, 1970.
- [15] A.B. Leonov, T.A.Ajzatullin: Kinetika i Mehanizm ...,
Obsaja Ekologia 4. kötet, 74-137, /1977/.
- [16] L.Lijklema, A. Hieltses: On the role of iron and
calcium in the cycling of phosphates in shallow lakes.
Presented at the Workshop on Hydro- and Ecol.Model.
IIASA /1978/.
- [17] Oláh J., O-Tóth E., Tóth L: A Balaton foszfor anyag-
cseréje, MTA Biol. Oszt. Közl. 20/1977/.
- [18] Oláh J., O-Tóth E., Tóth L: Szokatlanul nagy tápanyag-
termelés hatása a Balatonra. Hidrológiai Közlöny,
4. 1978.
- [19] Papp F., Felföldy L., Jolánkai G., Tóth L.: A Balaton
eutrofizálódásának biológiai, kémiai, hidrológiai
és hidroaulikai jellemzése és a folyamat késleltetési
módjai. Kézirat 1977.

- [20] N.E. Ottensen Hansen: Mixing processes in Lakes. Nordic Hydrology 9. 57-74 /1978/.
- [21] R.A. Park et al: A Generalized Model for Simulating Lake Ecosystems, Simulation, August, 1974. pp. 33-50.
- [22] B.C. Patten, D.A. Egloff, T.H. Richardson et al: Total Ecosystem Model for a Cave in Lake Texoma, in Systems Analysis and Simulation in Ecology vol;III. /ed. B.C. Patten/ Acad.Press. 1975. pp. 206-423.
- [23] D.Scavia, J.A.Bloomfield, J.S. Fischer, J.Nagy, R.A.Park: Documentation of CLEANX: A Generalized Model for Simulating the Openwater Ecosystems of Lakes, Simulation, August, 1974. pp.51-56.
- [24] W.R. Schofield, R.G. Krutchkoff: Stochastic Model for a Dynamic Ecosystem, VPI-WRRC-BULL 60.
- [25] M. Straskbara: Natural Control Mechanisms in Models of Aquatic Ecosystems, IFAC Symposium 1977, Lipcse, Vol. 1, pp.74-108.
- [26] R.A. Vollenweider: Scientific Fundamentals of the Eutrophication of lakes and Flowing Waters with Particular Reference to Nitrogen and Phosphorus as Factors in Eutrophication, OEDC Technical Report, DAS/SCI/63.27 pp 159, 1968.

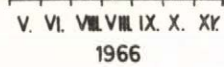
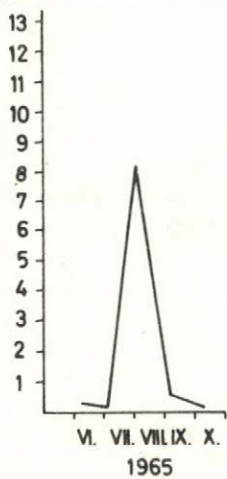
mg. litre⁻¹



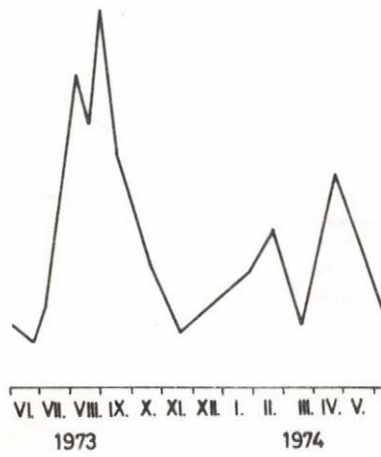
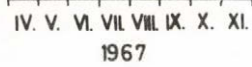
TIHANY



mg. litre⁻¹

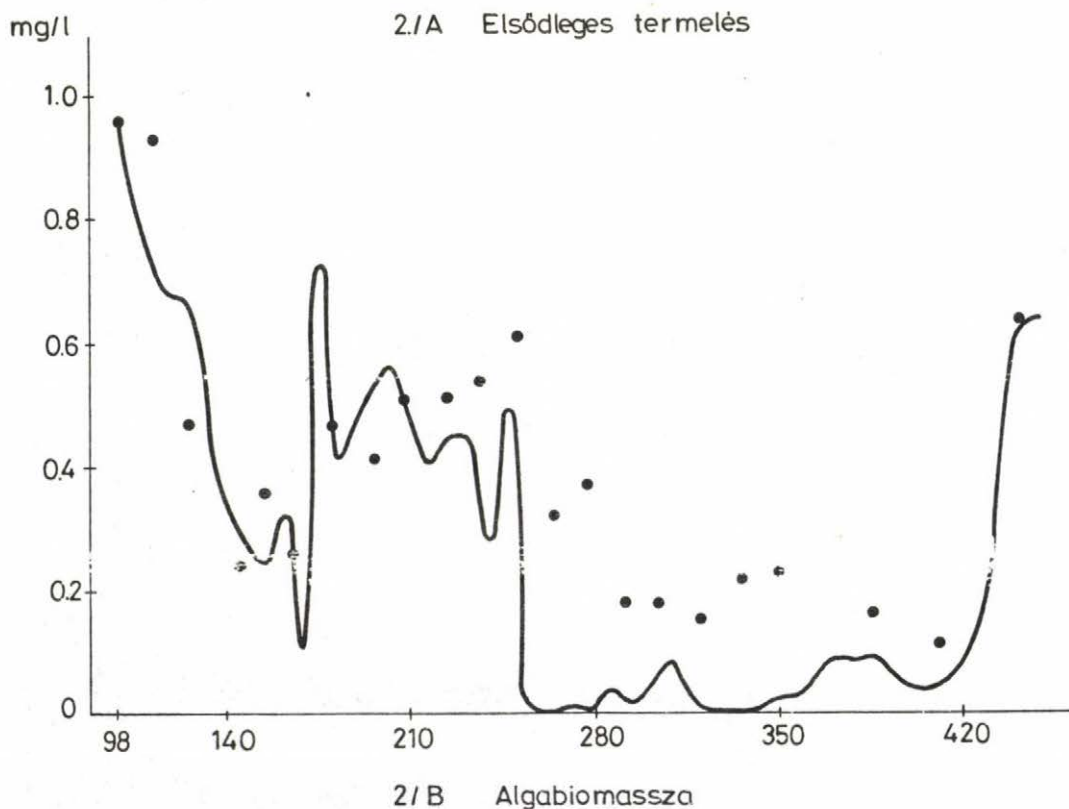
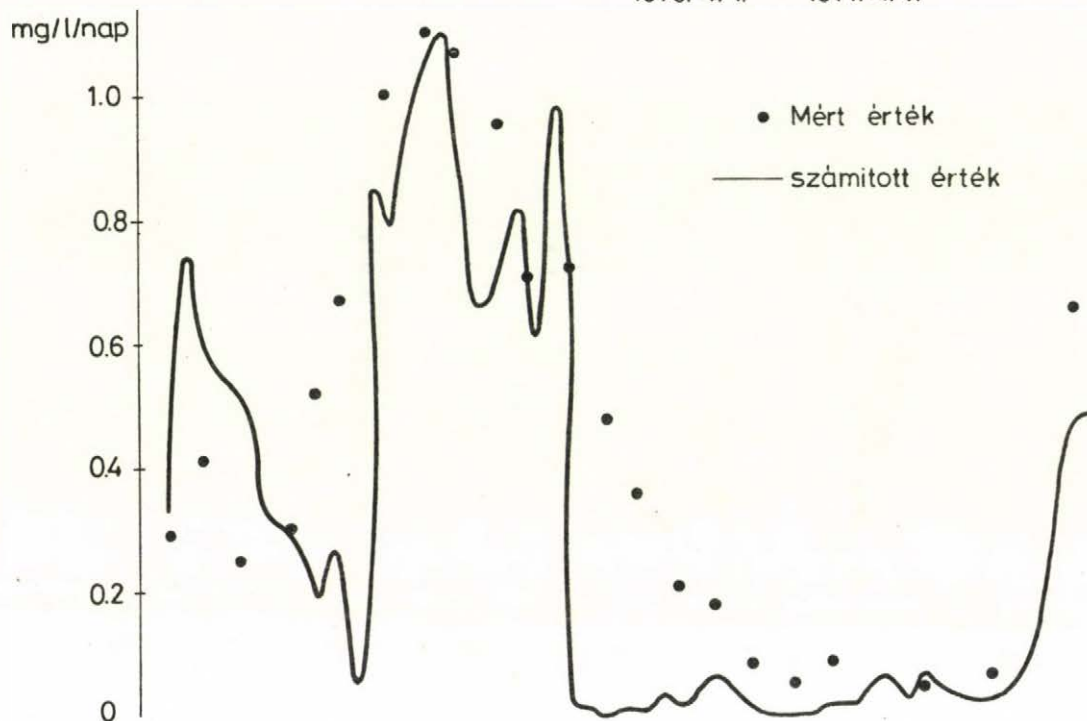


KESZTHELY



1. ábra.

1976. 4. 7. - 1977. 4. 7.



A) FÜGGELEK

A BEM-3.1. MODELL EGYENLETEI

$$\dot{B}_{SA} = \text{PROD}_{SA} - \text{MORT}_{SA} - \text{GRAZ}_{SA} + \text{INFLOW}_{SA} - \text{OUTFLOW}_{SA}$$

$$\dot{B}_{WA} = \text{PROD}_{WA} - \text{MORT}_{WA} - \text{GRAZ}_{WA} + \text{INFLOW}_{WA} - \text{OUTFLOW}_{WA}$$

$$\dot{B}_D = \text{UPT}_D - \text{RES}_D - \text{EXCR}_D - \text{MORT}_D - \text{GRAZ}_D$$

$$\dot{C}_{OM} = \text{EX}_{OM} + \text{MORT}_{OM} - \text{UPT}_{OM} + \text{INFLOW}_{OM} - \text{OUTFLOW}_{OM}$$

$$\dot{C}_P = \text{EX}_P - \text{UPT}_P + \text{INFLOW}_P - \text{OUTFLOW}_P - \text{SED}_P$$

$$\dot{C}_N = \text{EX}_N - \text{UPT}_N + \text{INFLOW}_N - \text{OUTFLOW}_N$$

B_{SA} : a melegkedvelő algák biomaszája (mg szárazsúly/l)

B_W : a hidegtűrő algák biomaszája (mg szárazsúly/l)

B_D : a lebontó baktériumok biomaszája (mg szárazsúly/l)

C_{OM} : a holt szervesanyag koncentrációja a vízben (mg/l)

C_P : a foszfor koncentrációja a vízben (mg/l)

C_N : a nitrogén koncentrációja a vízben (mg/l)

PROD : az algák elsődleges termelése (mg/l/nap):

$$\text{PROD} = \text{PMAX} \cdot \min(U_L, U_P, U_N) \cdot \text{TEMP} \cdot B$$

PMAX : maximális elsődleges termelés (mg/l/nap), állandó

TEMP : hőmérsékleti limitáló tényező

$$\text{TEMP} = \frac{\text{TCRIT} - T}{\text{TCRIT} - \text{TOPT}} \cdot \exp \left(1 - \frac{\text{TCRIT} - T}{\text{TCRIT} - \text{TOPT}} \right)$$

ha $\text{TCRIT} > T$, egyébként 0.

TCRIT: kritikus magas hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$) állandó

TOPT : optimális hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$), állandó

T : vízhőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$), bemenő adatsor

U_L : fénylimitáló tényező

$$U_L = \left[\exp \left(1 - \frac{L_Z}{\text{LOPT}} \right) - \exp \left(1 - \frac{L_O}{\text{LOPT}} \right) \right] / \beta Z$$

L_O : globális sugárzás fényerősség a víz felszínén ($\text{kcal}/\text{m}^2/\text{nap}$)
bemenő adatsor

L_Z : globális sugárzás a Z mélységben

$$L_Z = L_O e^{-\beta Z}$$

LOPT : optimális fényerősség az elsődleges termeléshez
($\text{kcal}/\text{m}^2/\text{nap}$) állandó

β : a víz fénykioltási együtthatója, bemenő adatsor

Z : a víztest mélysége (m)

U_P : a foszfor limitáló tényezője

$$U_P = \frac{C_P}{\text{HC}_P + C_P}$$

HC_P : a foszforlimitálás féltelítettségi állandója (mg/l)

U_N : a nitrogén limitáló tényezője

$$U_N = \frac{C_N}{\text{HC}_N + C_N}$$

HC_N : a nitrogénlimitálás féltelítetttségi állandója (mg/l)

UPT_D : a lebontó baktériumok szervesanyag-felvétele (mg/l/nap)

$$UPT_D = CMAX_D \cdot \frac{C_{OM}}{B_D + C_{OM}} \cdot TEMP_D \cdot B_D$$

$CMAX$: a maximális szervesanyagfelvétel (mg/l/nap) állandó

$MORT$: természetes mortalitás (mg/l/nap)

$$MORT = MCRIT \cdot MR^{T-TCRIT} \cdot B$$

$MCRIT$: mortalitási arány a kritikus hőmérsékleten (l/nap)
állandó

MR : mortalitási tényező, állandó

RES_D : a lebontók respirációja (mg/l/nap)

$$RES_D = RMAX_D \cdot TEMP_D \cdot B_D$$

$RMAX$: maximális respiráció-arány (l/nap), állandó

$EXCR_D$: a lebontók exkréciója (mg/l/nap)

$$EXCR_D = EMAX_D \cdot TEMP_D \cdot B_D$$

$EMAX$: maximális exkréció-arány (l/nap), állandó

$GRAZ$: ragadozottság (mg/l/nap)

$$GRAZ = GR \cdot B$$

GR : ragadozottsági arány (l/nap), állandó

EX : a lebontók által exkretált anyag (mg/l/nap)

$$EX_{OM} = OEXR_D \cdot EXCR_D$$

$$EX_P = PEXR_D \cdot EXCR_D$$

$$EX_N = NEXR_D \cdot EXCR_D$$

$OE\text{XR}_D$: a lebontók exkréciójának szervesanyag-aránya

$$OE\text{XR}_D = 1 - PE\text{XR}_D - NE\text{XR}_D$$

$PE\text{XR}_D$: a lebontók exkréciójának foszfor-aránya

$$PE\text{XR}_D = \frac{PR}{1-PR - NR} \cdot \frac{R\text{MAX}_D}{E\text{MAX}_D}$$

$NE\text{XR}_D$: a lebontók exkréciójának nitrogén-aránya

$$NE\text{XR} = \frac{NR}{PR} \cdot PE\text{XR}_D$$

PR : a szervesanyag foszfor-aránya, állandó

NR : a szervesanyag nitrogén-aránya, állandó

$MORT_{OM}$: a mortalitás által a vízbe kerülő szervesanyag (mg/l/nap)

$$MORT_{OM} = MORT_{SA} + MORT_{WA} + MORT_D$$

UPT : az élőlények táplálékfelvétele (mg/l/nap)

$$UPT_{OM} = UPT_D$$

$$UPT_P = PR \cdot (PROD_{SA} + PROD_{WA})$$

$$UPT_N = NR \cdot (PROD_{SA} + PROD_{WA})$$

$INFLOW$: a vízbe folyó anyagok és élőlények (mg/l/nap), állandó

$OUTFLOW$: a vízből kifolyó anyagok és élőlények (mg/l/nap),
állandó

$$OUTFLOW = OFLR \cdot B$$

$$OFLR \cdot C$$

$OFLR$: a kifolyási tényező (1/nap), állandó

SED_P : precipitációval kiülepedő foszfor (mg/l/nap)

$$SED_P = SP_R \cdot C_P \cdot (PROD_{SA} + PROD_{WA})$$

SR_P : foszforülepedési tényező, állandó

BEM-3 SIMULATION

DATE: 02/09/79

06/28/35

SIMULATION START TIME: 0.00000
 SIMULATION STOP TIME: 364.00000
 PRINT STEP: 7.00000
 STEP FOR CALCULATION: 0.50000
 EPSILON FOR ACCURACY: 0.00000

SUBSYSTEMS IN THE MODEL:

LIGHT

KESZTHELY BAY
 VOLUME 0.00000
 DEPTH 3.00000

CONSTANT	PHOSPHORUS	NITROGEN	OM	DECOMPOSER	SUMMER ALGAE	WINTER ALGAE
IFL	0.00100	0.01500	0.00000		0.00000	0.00000
OFLR	0.00100	0.08000	0.00000		0.00000	0.00000
SR	0.12000					
C _{MAX}				2.80000	6.50000	2.20000
R _{MAX}				0.80000	0.35000	0.35000
E _{MAX}				0.12200	0.31000	0.31000
T _{OPT}				20.00000	30.00000	10.00000
T _{CRIT}				40.00000	35.00000	32.00000
M _{CRIT}				1.00000	1.00000	0.22000
M _R				1.10000	1.06000	1.03500
S _R				0.00000	0.00000	0.00000
L _{OPT}					3000.00000	1000.00000
EXTA					0.30000	0.30000
HCP					0.01100	0.01200
ICN					0.22000	0.24000
INITIAL VALUE	0.09123	0.18241	0.01416	0.01930	0.00023	0.06327

DAY	KESZT 3 S	KESZT B W	KESZT B A	KESZT 3 J	DAY
0.0	0.00023	0.06327	0.06350	0.01930	0.0
7.0	0.00009	0.20770	0.20779	0.06959	7.0
14.0	0.00003	0.41143	0.41146	0.15803	14.0
21.0	0.00001	0.58162	0.58163	0.23751	21.0
28.0	0.00001	0.74122	0.74122	0.30833	28.0
35.0	0.00000	0.90080	0.90080	0.37799	35.0
42.0	0.00000	1.06073	1.06073	0.44712	42.0
49.0	0.00000	1.22071	1.22071	0.51541	49.0
56.0	0.00000	1.38035	1.38035	0.58254	56.0
63.0	0.00000	1.51349	1.51349	0.64604	63.0
70.0	0.00000	1.55434	1.55434	0.66393	70.0
77.0	0.00000	1.58366	1.58366	0.67305	77.0
84.0	0.00000	1.60219	1.60219	0.67665	84.0
91.0	0.00000	1.61229	1.61229	0.67598	91.0
98.0	0.00000	1.61602	1.61502	0.67211	98.0
105.0	0.00000	1.61515	1.61515	0.66533	105.0
112.0	0.00000	1.61114	1.61114	0.65821	112.0
119.0	0.00000	1.60518	1.60518	0.64955	119.0
126.0	0.00000	1.59818	1.59818	0.64049	126.0
133.0	0.00002	1.59075	1.59077	0.63138	133.0
140.0	0.00036	1.58307	1.58343	0.62255	140.0
147.0	0.001816	1.56397	1.58123	0.61695	147.0
154.0	0.69565	0.98405	1.67969	0.76471	154.0
161.0	1.44805	0.15876	1.60381	1.09819	161.0
168.0	1.64025	0.01969	1.65994	1.26403	168.0
175.0	1.73370	0.00236	1.73506	1.38405	175.0
182.0	1.61141	0.00028	1.81169	1.48447	182.0
189.0	1.88783	0.00003	1.88786	1.56887	189.0
196.0	1.96304	0.00000	1.96905	1.63756	196.0
203.0	2.05502	0.00000	2.05502	1.69083	203.0
210.0	2.15045	0.00000	2.15045	1.72825	210.0
217.0	2.25495	0.00000	2.25495	1.74985	217.0
224.0	2.36809	0.00000	2.36809	1.75581	224.0
231.0	2.48650	0.00000	2.48850	1.74652	231.0
238.0	2.61392	0.00000	2.61392	1.72329	238.0
245.0	2.74129	0.00000	2.74129	1.68632	245.0
252.0	2.86680	0.00000	2.86580	1.63941	252.0
259.0	2.98599	0.00000	2.98599	1.58249	259.0
266.0	3.08671	0.00000	3.08671	1.51773	266.0
273.0	2.69233	0.00000	2.69238	1.29110	273.0
280.0	2.99570	0.00000	2.09570	0.95078	280.0
287.0	1.51967	0.00000	1.51967	0.65174	287.0
294.0	1.01780	0.00000	1.01780	0.41625	294.0
301.0	0.61392	0.00000	0.61892	0.24374	301.0
308.0	0.33681	0.00000	0.33681	0.12895	308.0
315.0	0.16356	0.00000	0.16356	0.06127	315.0
322.0	0.07181	0.00001	0.07182	0.02638	322.0
329.0	0.02921	0.00013	0.02934	0.01054	329.0
336.0	0.01131	0.00114	0.01245	0.00423	336.0
343.0	0.00427	0.00750	0.01186	0.00257	343.0
350.0	0.00153	0.04091	0.04250	0.01233	350.0
357.0	0.00053	0.15328	0.16398	0.05216	357.0
364.0	0.00022	0.37754	0.37776	0.14053	364.0

BEM-3 SIMULATION

RUN TIME: 02/09/79

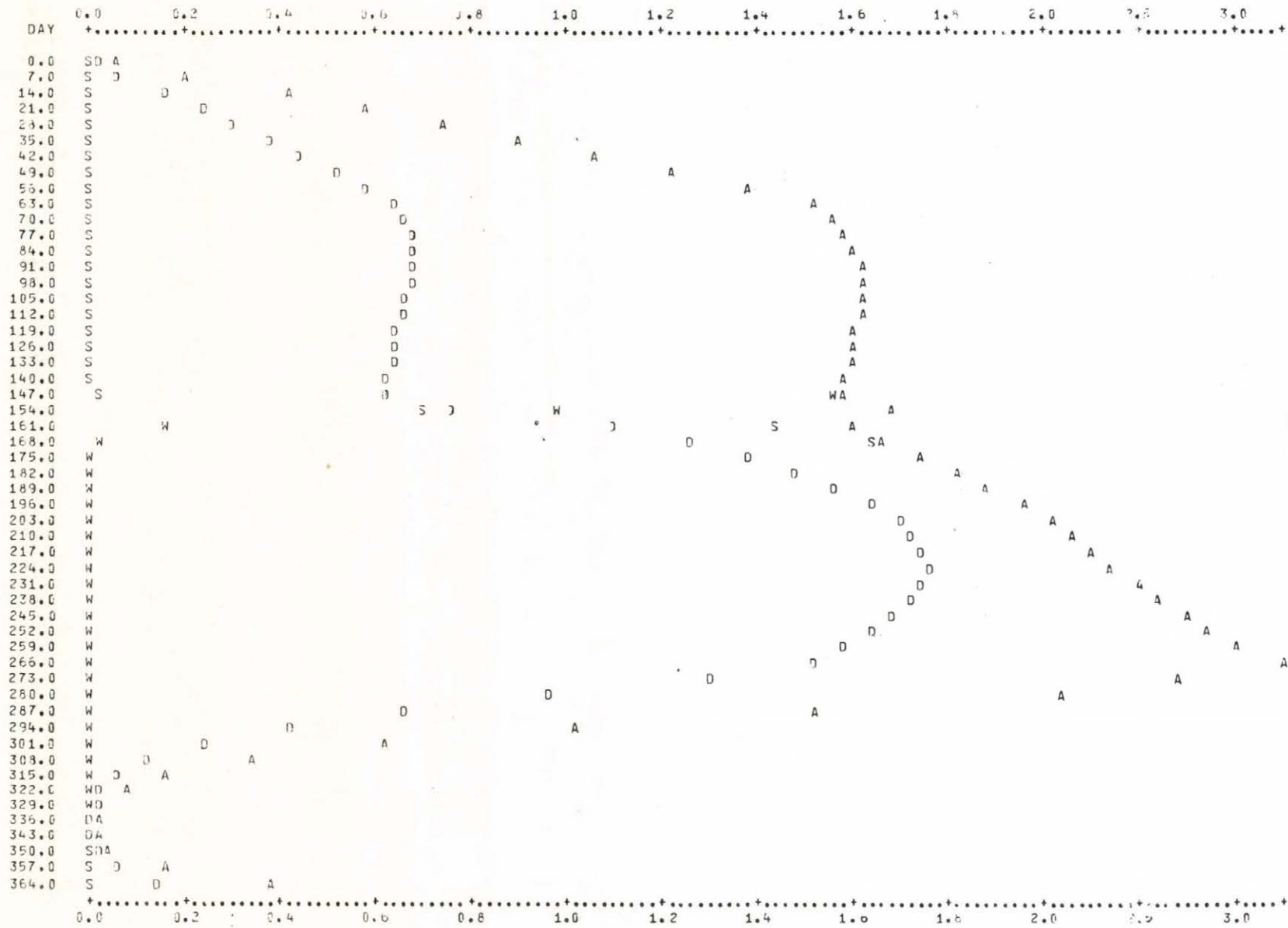
16/21:37

1- 2

VARIABLES PRESENTED:

NAME	PLOT SYMBOL
KESZT 0 S	S
KESZT 0 W	W
KESZT 0 A	A
KESZT 0 D	D

PLOTTED RESULTS



49

DAY	KESZT C P	KESZT C N	KESZT C O	DAY
0.0	0.09123	0.19241	0.01416	5.0
7.0	0.08704	0.15239	0.04584	7.0
14.0	0.07317	0.14141	0.09285	14.0
21.0	0.05607	0.13439	0.13630	21.0
28.0	0.04100	0.13221	0.16561	28.0
35.0	0.02695	0.13115	0.20988	35.0
42.0	0.01762	0.13042	0.23504	42.0
49.0	0.01162	0.13016	0.27101	49.0
56.0	0.00807	0.13018	0.30568	56.0
63.0	0.00637	0.13414	0.33591	63.0
70.0	0.00642	0.15093	0.34270	70.0
77.0	0.00646	0.16255	0.34845	77.0
84.0	0.00651	0.17031	0.35199	84.0
91.0	0.00657	0.17701	0.35393	91.0
98.0	0.00665	0.18148	0.35481	98.0
105.0	0.00674	0.18472	0.35508	105.0
112.0	0.00686	0.18703	0.35515	112.0
119.0	0.00699	0.18659	0.35531	119.0
126.0	0.00714	0.18359	0.35530	126.0
133.0	0.00732	0.19016	0.35674	133.0
140.0	0.00752	0.19439	0.35923	140.0
147.0	0.00764	0.18923	0.36336	147.0
154.0	0.00769	0.14730	0.51478	154.0
161.0	0.00336	0.12302	0.69954	161.0
168.0	0.00319	0.12116	0.80155	168.0
175.0	0.00313	0.12364	0.88351	175.0
182.0	0.00311	0.12613	0.95243	182.0
189.0	0.00309	0.13341	1.00772	189.0
196.0	0.00310	0.13890	1.04527	196.0
203.0	0.00311	0.14429	1.07353	203.0
210.0	0.00315	0.14946	1.08378	210.0
217.0	0.00322	0.15436	1.08001	217.0
224.0	0.00327	0.15997	1.06387	224.0
231.0	0.00337	0.16332	1.03738	231.0
238.0	0.00350	0.16743	1.00269	238.0
245.0	0.00368	0.17138	0.96192	245.0
252.0	0.00390	0.17527	0.91595	252.0
259.0	0.00419	0.17922	0.86933	259.0
266.0	0.00461	0.18435	0.81959	266.0
273.0	0.00496	0.23343	0.65512	273.0
280.0	0.004560	0.33666	0.46583	280.0
287.0	0.002105	0.35883	0.31197	287.0
294.0	0.002710	0.37059	0.19315	294.0
301.0	0.003392	0.35262	0.10937	301.0
308.0	0.004123	0.32342	0.05576	308.0
315.0	0.004853	0.28495	0.02553	315.0
322.0	0.005572	0.25888	0.01063	322.0
329.0	0.006259	0.23413	0.00415	329.0
336.0	0.006922	0.21642	0.00176	336.0
343.0	0.007547	0.20399	0.00215	343.0
350.0	0.008019	0.19219	0.00926	350.0
357.0	0.007910	0.17154	0.03577	357.0
364.0	0.006633	0.14617	0.08541	364.0

BEM-3 SIMULATION

RUN TIME: 02/05/79

19/18/00

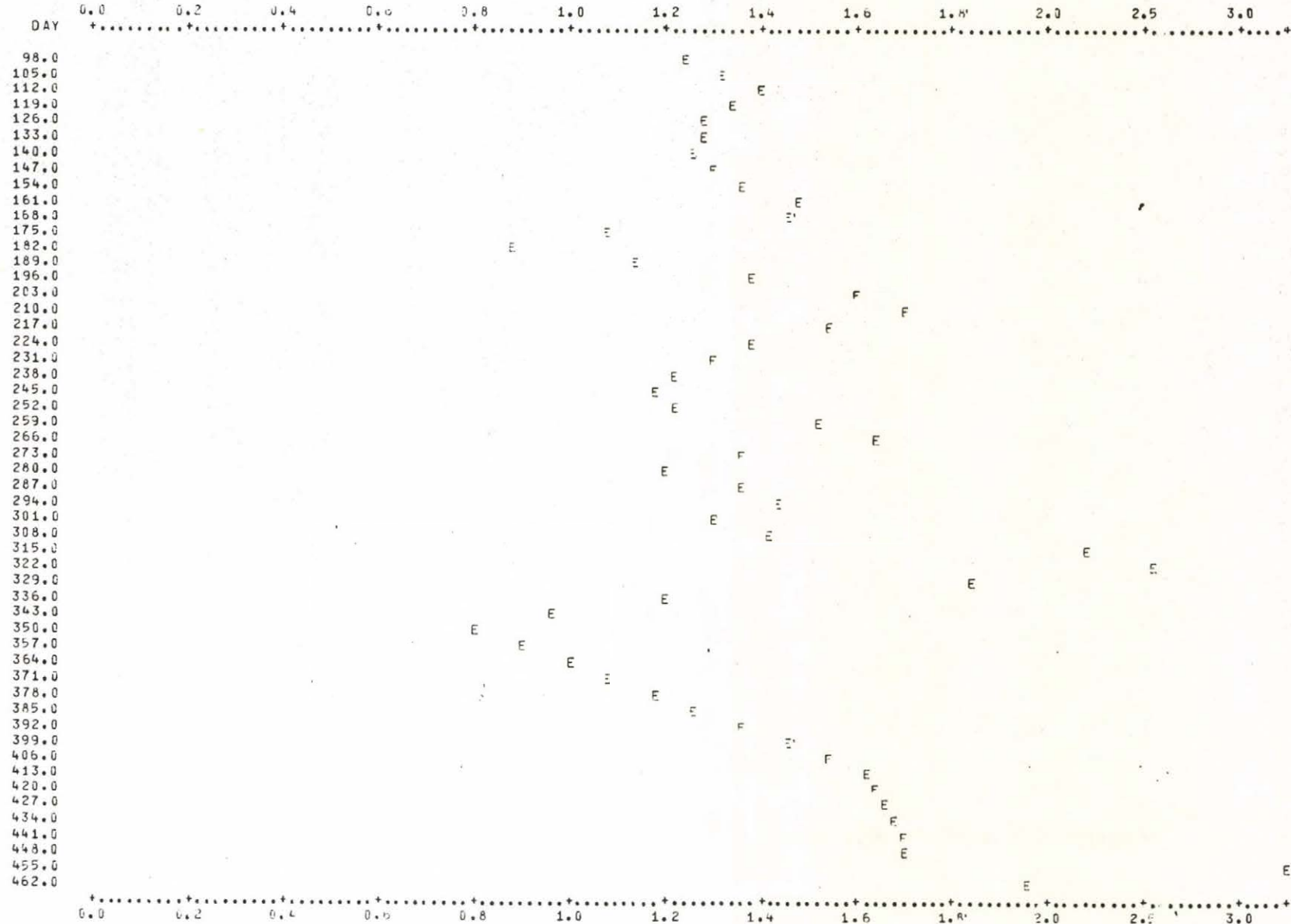
2- 2

VARIABLES PRESENTED:

NAME PLOT SY130L

SZEMES 10TEXT E

PLOTTED RESULTS



DAY	SCHEDULE TEMPER	DAY
98.0	13.10000	108.0
105.0	12.60000	109.0
112.0	14.00000	112.0
119.0	12.10000	113.0
126.0	14.20000	126.0
133.0	17.60000	133.0
140.0	17.30000	140.0
147.0	16.90000	147.0
154.0	17.80000	154.0
161.0	17.70000	161.0
168.0	21.30000	168.0
175.0	24.10000	175.0
182.0	26.10000	182.0
189.0	24.90000	189.0
196.0	23.90000	196.0
203.0	25.20000	203.0
210.0	23.30000	210.0
217.0	20.20000	217.0
224.0	19.30000	224.0
231.0	20.30000	231.0
238.0	19.30000	238.0
245.0	20.30000	245.0
252.0	15.90000	252.0
259.0	17.60000	259.0
266.0	14.40000	266.0
273.0	15.20000	273.0
280.0	16.00000	280.0
287.0	17.00000	287.0
294.0	11.30000	294.0
301.0	7.60000	301.0
308.0	9.20000	308.0
315.0	10.00000	315.0
322.0	7.50000	322.0
329.0	1.80000	329.0
336.0	2.70000	336.0
343.0	3.20000	343.0
350.0	0.20000	350.0
357.0	0.90000	357.0
364.0	0.00000	364.0
371.0	0.00000	371.0
378.0	0.00000	378.0
385.0	0.00000	385.0
392.0	0.00000	392.0
399.0	0.30000	399.0
406.0	1.00000	406.0
413.0	2.50000	413.0
420.0	5.60000	420.0
427.0	1.00000	427.0
434.0	5.60000	434.0
441.0	7.40000	441.0
448.0	10.20000	448.0
455.0	6.20000	455.0
462.0	7.00000	462.0

3EM-3 SIMULATION

RUN TIME: 02/05/79

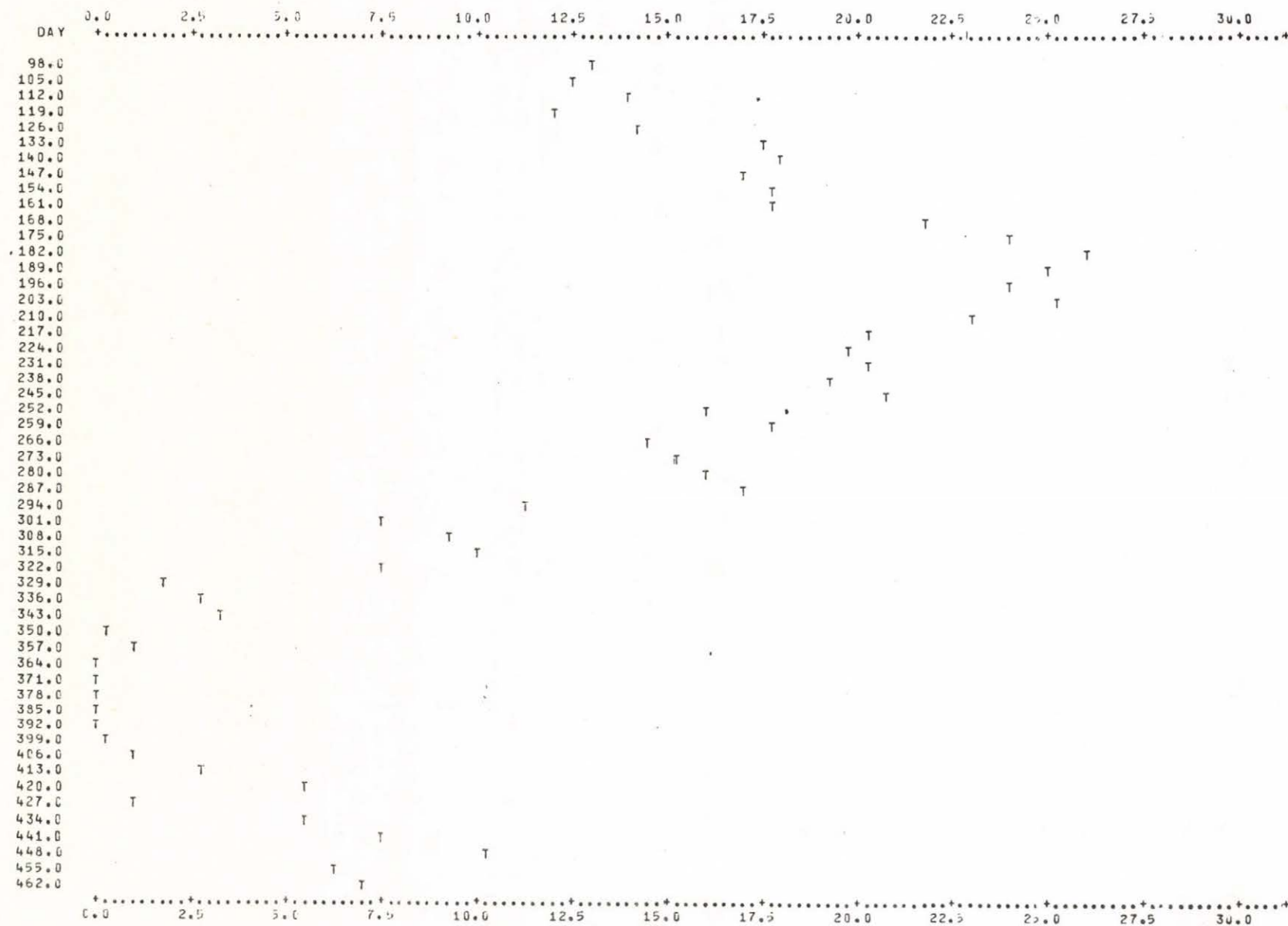
19/18/21

3- 2

VARIABLES PRESENTED:

NAME	PLOT SYMBOL
SZEMES TEMPER	T

PLOTTED RESULTS



BPM-3 SIMULATION

DAY	RECPT TOTAL-P	KES7T TOTAL-N	DAY
0.0	0.0	0.0	0.0
7.0	0.08993	0.29220	7.0
14.0	0.17517	0.22722	14.0
21.0	0.26068	0.25036	21.0
28.0	0.34510	0.28139	28.0
35.0	0.42936	0.31271	35.0
42.0	0.51342	0.34452	42.0
49.0	0.59731	0.37657	49.0
56.0	0.68103	0.40859	56.0
63.0	0.76459	0.44051	63.0
70.0	0.84793	0.46535	70.0
77.0	0.93106	0.48239	77.0
84.0	1.01395	0.49310	84.0
91.0	1.09651	0.50139	91.0
98.0	1.17860	0.50595	98.0
105.0	1.26023	0.50437	105.0
112.0	1.34144	0.50924	112.0
119.0	1.42224	0.51303	119.0
126.0	1.50265	0.50312	126.0
133.0	1.58269	0.50677	133.0
140.0	1.66235	0.50320	140.0
147.0	1.74163	0.50871	147.0
154.0	1.82050	0.51160	154.0
161.0	1.89891	0.51480	161.0
168.0	1.97685	0.51857	168.0
175.0	2.05431	0.51516	175.0
182.0	2.13132	0.64973	182.0
189.0	2.20785	0.68152	189.0
196.0	2.28397	0.71027	196.0
203.0	2.35967	0.73537	203.0
210.0	2.43492	0.75871	210.0
217.0	2.50972	0.77863	217.0
224.0	2.58408	0.79559	224.0
231.0	2.65791	0.81063	231.0
238.0	2.73123	0.82391	238.0
245.0	2.80404	0.83313	245.0
252.0	2.87636	0.84107	252.0
259.0	2.94819	0.84692	259.0
266.0	3.01954	0.85029	266.0
273.0	3.09041	0.85232	273.0
280.0	3.16080	0.85391	280.0
287.0	3.23071	0.85467	287.0
294.0	3.30014	0.85446	294.0
301.0	3.36909	0.85416	301.0
308.0	3.43756	0.85375	308.0
315.0	3.50554	0.85325	315.0
322.0	3.57303	0.85267	322.0
329.0	3.64003	0.85203	329.0
336.0	3.70654	0.85133	336.0
343.0	3.77256	0.85058	343.0
350.0	3.83809	0.84977	350.0
357.0	3.90314	0.84891	357.0
364.0	3.96771	0.84800	364.0

3EM-3 SIMULATION

PUN TIME: 02/09/79

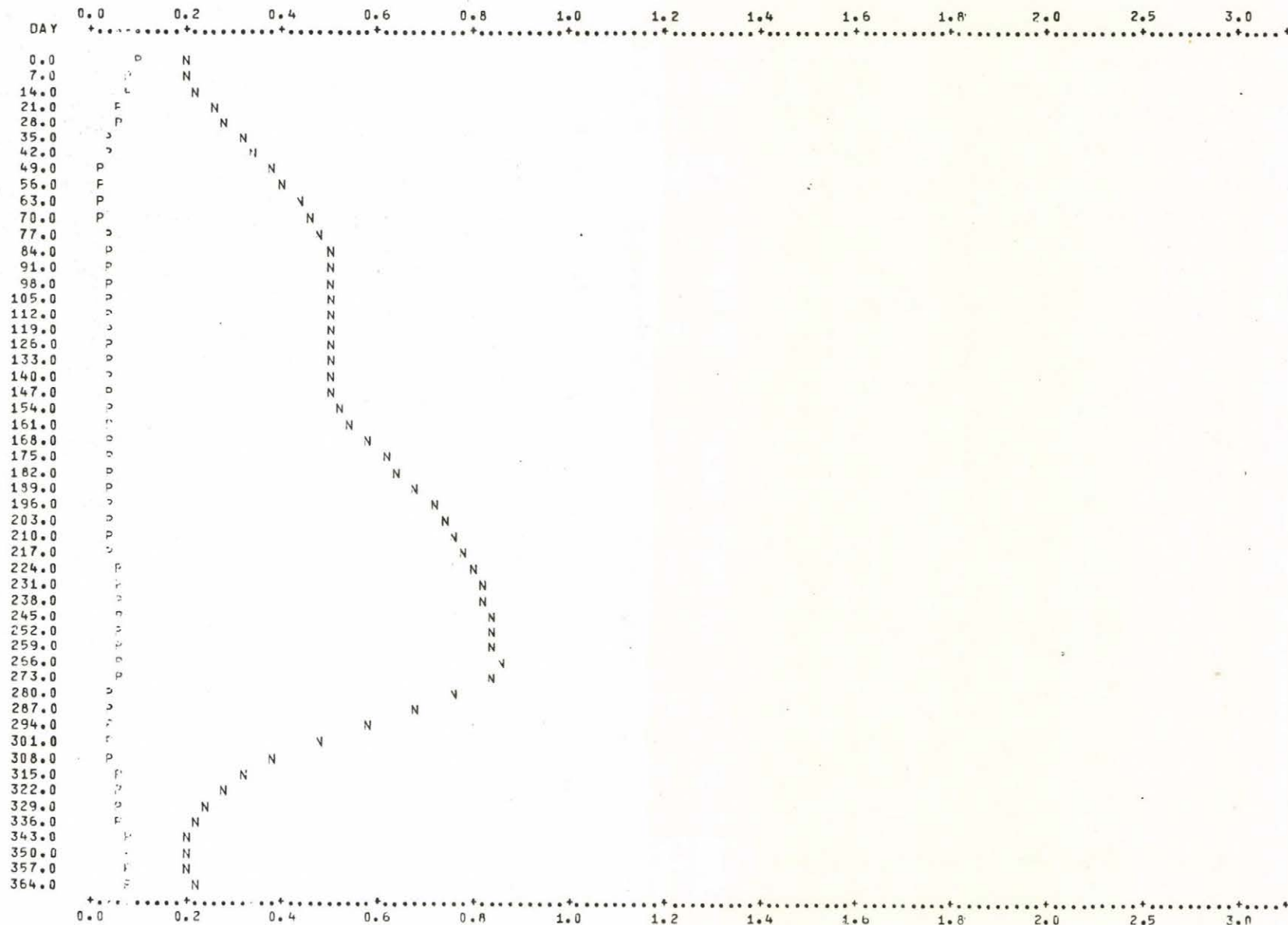
16/24/57

4- 2

VARIABLES PRESENTED:

NAME	PLOT SYMBOL
KESZT TOTAL-P	P
KESZT TOTAL-N	N

PLOTTED RESULTS



158

BEM-3 SIMULATION

DATE: 02/05/79

1978/19

SIMULATION START TIME: 36.00000
 SIMULATION STOP TIME: 462.00000
 PRINT STEP: 7.00000
 STEP FOR CALCULATION: 0.50000
 EPSILON FOR ACCURACY: 0.00000

SUBSYSTEMS IN THE MODEL:

 LIGHT

SZEMES BASIN
 VOLUME 0.00000
 DEPTH 3.20000

CONSTANT	PHOSPHORUS	NITROGEN	GM	DECOMPOSER	SUMMER ALGAE	WINTER ALGAE
IFL	0.00100	0.01500	0.00000		0.00050	0.00050
OFLR	0.03000	0.03000	0.00000		0.00000	0.00000
SR	0.12000					
C _{MAX}				2.00000	5.20000	1.60000
X _{MAX}				0.80000	0.35000	0.35000
E _{MAX}				0.12200	0.31000	0.31000
T _{OPT}				20.00000	25.00000	11.00000
T _{CRIT}				40.00000	31.00000	28.00000
M _{CRIT}				1.00000	2.10000	1.10000
MR				1.10000	1.01000	1.02000
GR				0.00000	0.00000	0.00000
L _{OPT}					2000.00000	800.00000
EXTA					0.30000	0.30000
HCP					0.00900	0.01500
ICN					0.18000	0.30000
INITIAL VALUE	0.00500	0.07000	2.00000	0.50000	0.00000	0.90000

DAY	SCENES LZ	L LO	DAY
98.0	18.15289	350.00000	98.0
105.0	60.83621	4980.00000	105.0
112.0	55.71454	4820.00000	112.0
119.0	20.49512	1430.00000	119.0
126.0	86.71037	5420.00000	126.0
133.0	110.35392	5850.00000	133.0
140.0	94.70038	5500.00000	140.0
147.0	80.23951	5270.00000	147.0
154.0	16.89250	1490.00000	154.0
161.0	52.55008	5080.00000	161.0
168.0	9.92537	1050.00000	168.0
175.0	144.27164	4530.00000	175.0
182.0	358.79301	6240.00000	182.0
189.0	115.88327	4440.00000	189.0
196.0	41.93196	3500.00000	196.0
203.0	23.71713	3330.00000	203.0
210.0	11.75847	2630.00000	210.0
217.0	14.59092	2510.00000	217.0
224.0	25.95331	2220.00000	224.0
231.0	77.51761	5000.00000	231.0
238.0	93.00416	4680.00000	238.0
245.0	56.55134	2410.00000	245.0
252.0	90.50154	4460.00000	252.0
259.0	5.63355	720.00000	259.0
266.0	3.34214	540.00000	266.0
273.0	37.36121	2400.00000	273.0
280.0	29.07771	1370.00000	280.0
287.0	35.04167	2750.00000	287.0
294.0	22.66414	2250.00000	294.0
301.0	17.26704	1090.00000	301.0
308.0	11.34317	1070.00000	308.0
315.0	1.48319	1770.00000	315.0
322.0	0.13800	520.00000	322.0
329.0	3.53764	1310.00000	329.0
336.0	4.40466	209.00000	336.0
343.0	46.63753	980.00000	343.0
350.0	44.73176	590.00000	350.0
357.0	26.49623	470.00000	357.0
364.0	23.89300	970.00000	364.0
371.0	26.18248	840.00000	371.0
378.0	8.57540	370.00000	378.0
385.0	20.16327	1170.00000	385.0
392.0	10.37964	610.00000	392.0
399.0	11.61520	1240.00000	399.0
406.0	12.18025	1720.00000	406.0
413.0	9.80755	1750.00000	413.0
420.0	12.17879	2230.00000	420.0
427.0	17.65667	3220.00000	427.0
434.0	14.33200	3040.00000	434.0
441.0	18.00790	4170.00000	441.0
448.0	14.52033	3450.00000	448.0
455.0	0.50330	1100.00000	455.0
462.0	6.50323	4510.00000	462.0

BEM-3 SIMULATION

RUN TIME: 02/05/75

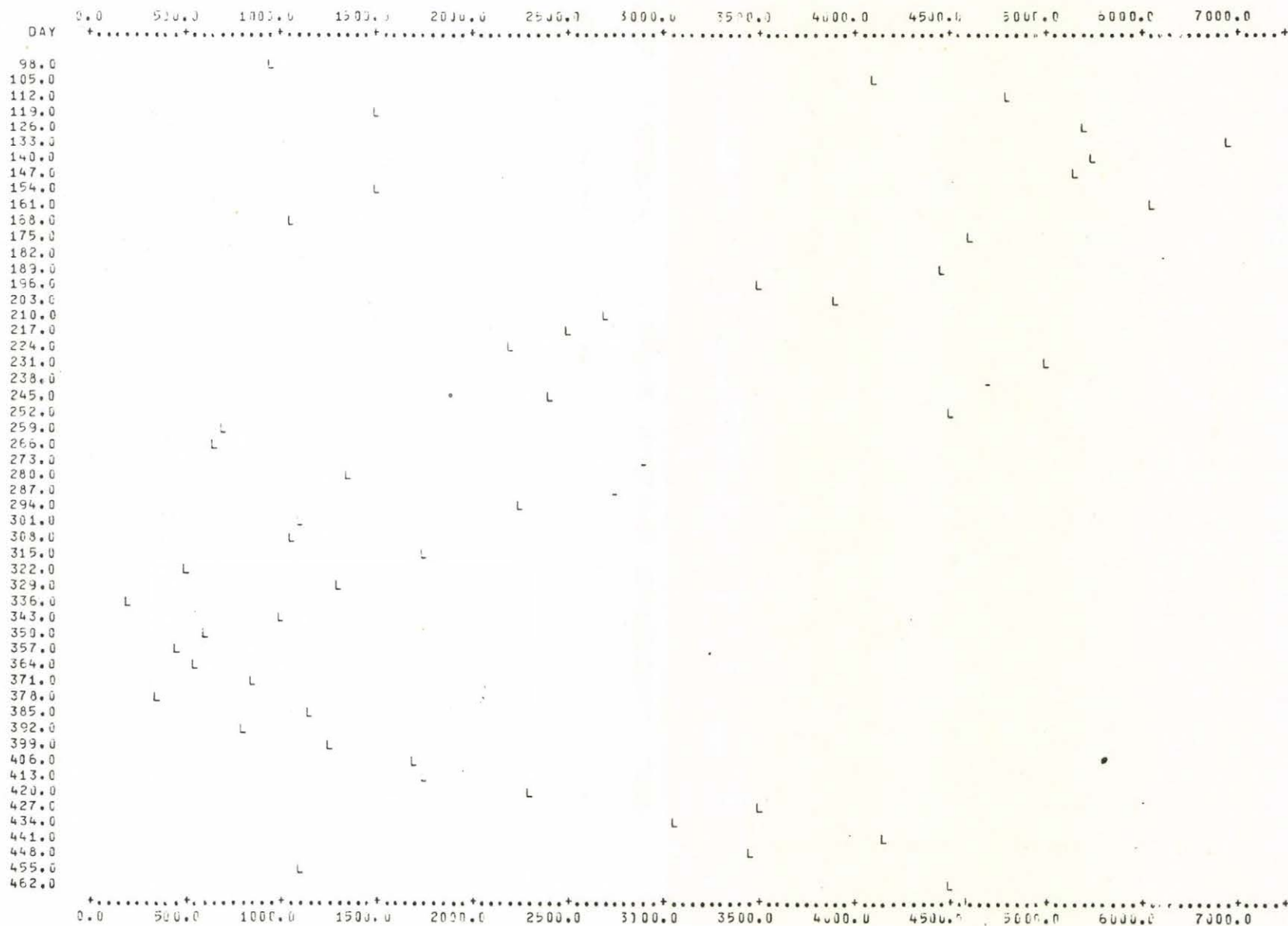
19/18/20

1- 2

VARIABLES PRESENTED:

NAME	PLOT SYMBOL
SZFMES LZ	
L LZ	L

PLOTTED RESULTS



DAY	SZEMES TGTEXT	DAY
98.0	1.23076	98.0
105.0	1.31533	105.0
112.0	1.33384	112.0
119.0	1.33948	119.0
126.0	1.25013	126.0
133.0	1.27355	133.0
140.0	1.26911	140.0
147.0	1.30755	147.0
154.0	1.36025	154.0
161.0	1.48464	161.0
168.0	1.45065	168.0
175.0	1.08123	175.0
182.0	0.88391	182.0
189.0	1.13932	189.0
196.0	1.38223	196.0
203.0	1.59374	203.0
210.0	1.69773	210.0
217.0	1.53203	217.0
224.0	1.38994	224.0
231.0	1.30209	231.0
238.0	1.22450	238.0
245.0	1.17257	245.0
252.0	1.21338	252.0
259.0	1.51302	259.0
266.0	1.64214	266.0
273.0	1.35935	273.0
280.0	1.20354	280.0
287.0	1.36333	287.0
294.0	1.43084	294.0
301.0	1.29535	301.0
308.0	1.42087	308.0
315.0	2.21392	315.0
322.0	2.57323	322.0
329.0	1.84623	329.0
336.0	1.19239	336.0
343.0	0.95161	343.0
350.0	0.80007	350.0
357.0	0.89867	357.0
364.0	0.99126	364.0
371.0	1.00385	371.0
378.0	1.17644	378.0
385.0	1.26903	385.0
392.0	1.36162	392.0
399.0	1.45421	399.0
406.0	1.54680	406.0
413.0	1.61616	413.0
420.0	1.63044	420.0
427.0	1.65472	427.0
434.0	1.67300	434.0
441.0	1.69128	441.0
448.0	1.70956	448.0
455.0	3.28637	455.0
462.0	1.36150	462.0

BEM-3 SIMULATION

RUN TIME: JUL 05 79

13/18/2:

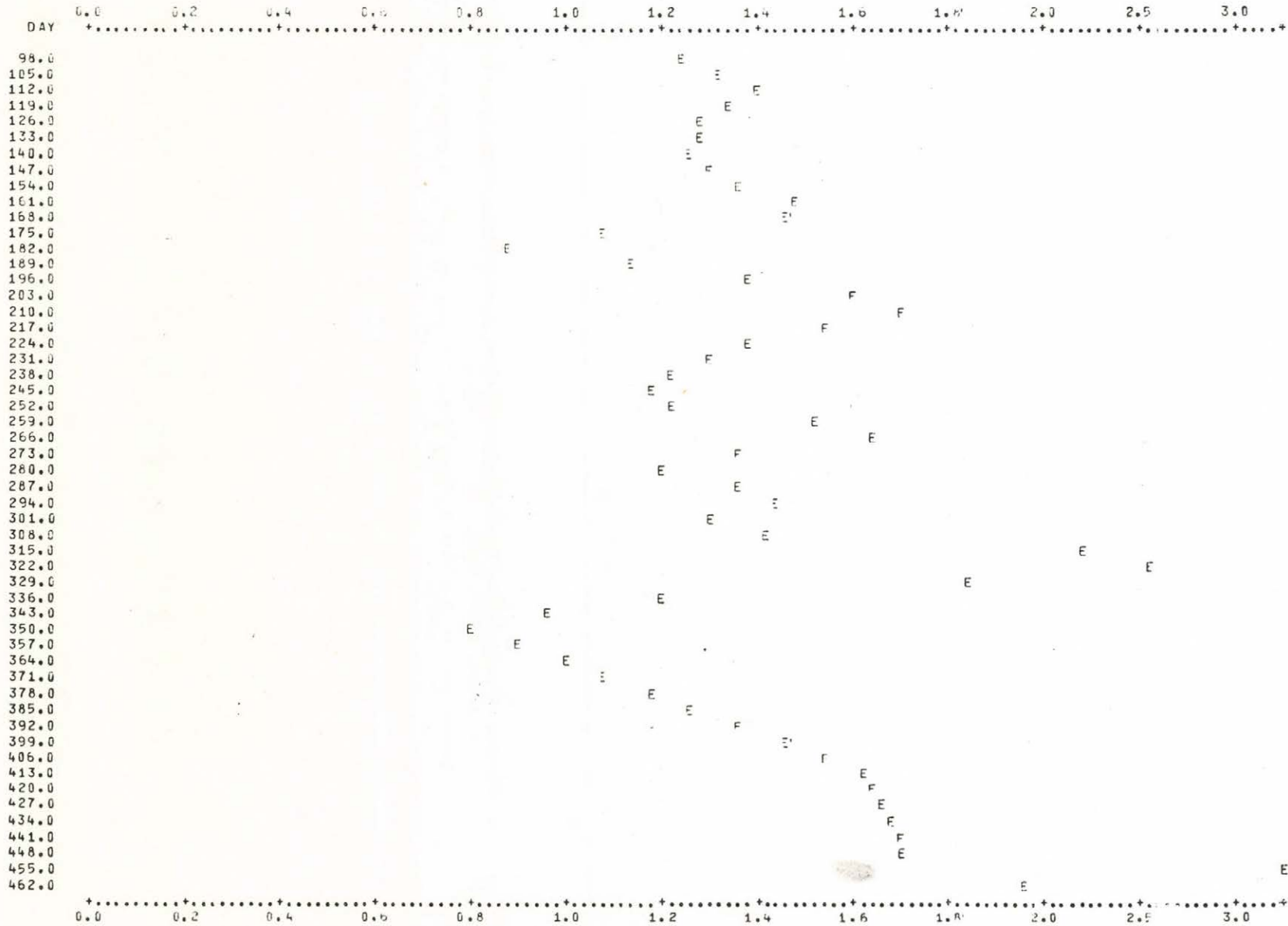
2- 2

VARIABLES PRESENTED:

NAME PLOT SY48DL

SZEMES TOTEXT E

PLOTTED RESULTS



SEM-3 SIMULATION

RUN TIME: 02/05/79

19/18/20

7- 1

DAY	SZEMES TEMPER	DAY
96.0	13.10000	98.0
105.0	12.60000	105.0
112.0	14.00000	112.0
119.0	12.10000	119.0
126.0	14.20000	126.0
133.0	17.60000	133.0
140.0	17.30000	140.0
147.0	16.90000	147.0
154.0	17.80000	154.0
161.0	17.70000	161.0
168.0	21.80000	168.0
175.0	24.10000	175.0
182.0	26.10000	182.0
189.0	24.90000	189.0
196.0	23.90000	196.0
203.0	25.20000	203.0
210.0	23.60000	210.0
217.0	20.20000	217.0
224.0	19.30000	224.0
231.0	20.30000	231.0
238.0	19.30000	238.0
245.0	20.30000	245.0
252.0	19.90000	252.0
259.0	17.60000	259.0
266.0	14.40000	266.0
273.0	15.20000	273.0
280.0	16.00000	280.0
287.0	17.00000	287.0
294.0	11.30000	294.0
301.0	7.60000	301.0
308.0	9.20000	308.0
315.0	10.00000	315.0
322.0	7.50000	322.0
329.0	1.80000	329.0
336.0	2.70000	336.0
343.0	3.20000	343.0
350.0	0.20000	350.0
357.0	0.90000	357.0
364.0	0.00000	364.0
371.0	0.00000	371.0
378.0	0.00000	378.0
385.0	0.00000	385.0
392.0	0.00000	392.0
399.0	0.30000	399.0
406.0	1.30000	406.0
413.0	2.80000	413.0
420.0	5.60000	420.0
427.0	1.30000	427.0
434.0	5.60000	434.0
441.0	7.40000	441.0
448.0	10.20000	448.0
455.0	6.20000	455.0
462.0	7.30000	462.0

3EM-3 SIMULATION

RUN TIME: 02/05/79

19/18/8J

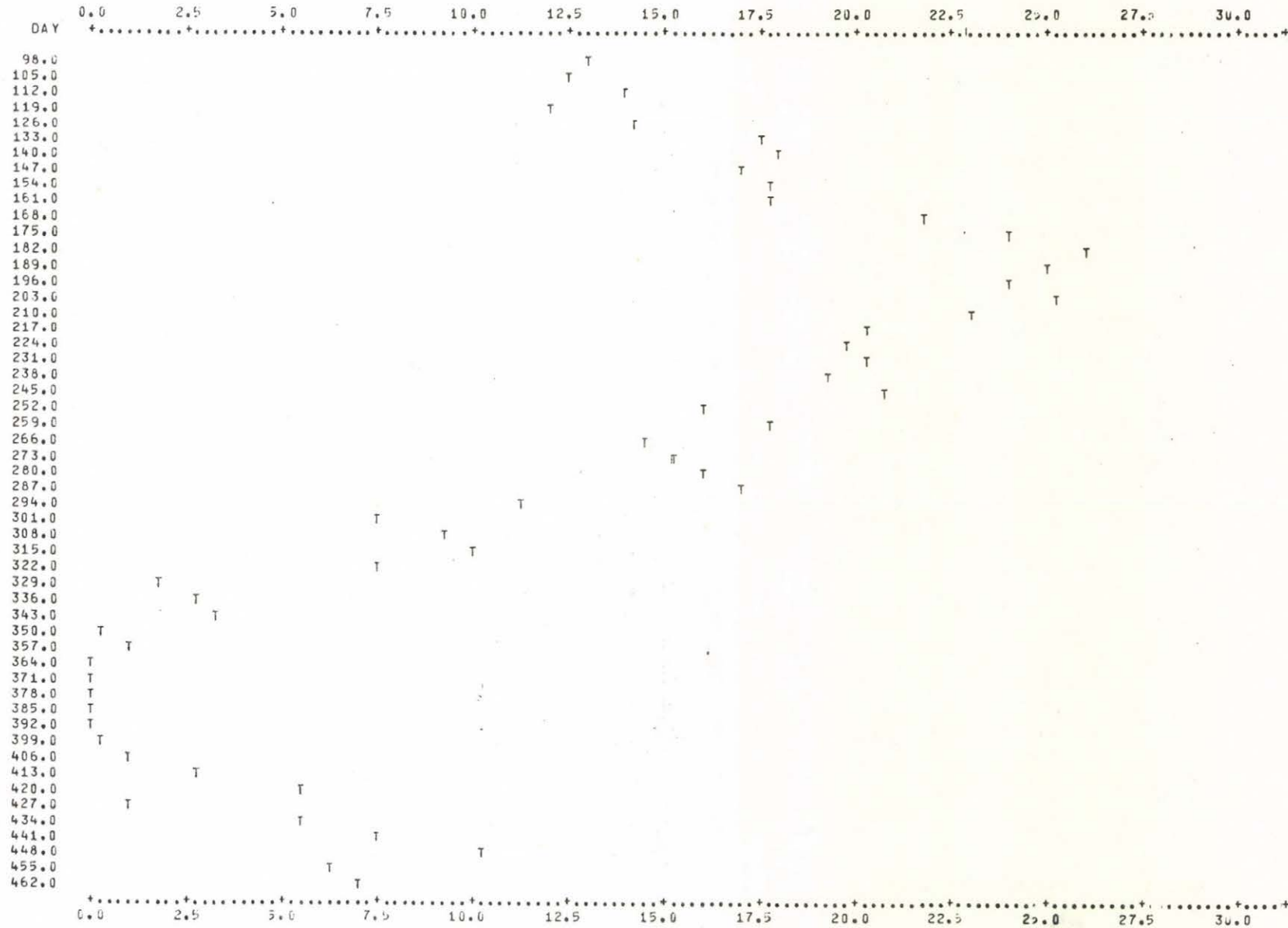
3- 2

VARIABLES PRESENTED:

NAME	PLOT SYMBOL
------	-------------

SZEMES TEMPER	T
---------------	---

PLOTTED RESULTS



DAY	SZEMEG B J	SZEMES B W	SZEMES B A	SZEMES B J	DAY
98.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	98.0
105.0	0.00012	0.00000	0.00000	0.00000	105.0
112.0	0.00010	0.00000	0.00000	0.00000	112.0
119.0	0.00012	0.00000	0.00000	0.00000	119.0
126.0	0.00014	0.00000	0.00000	0.00000	126.0
133.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	133.0
140.0	0.00023	0.00000	0.00000	0.00000	140.0
147.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	147.0
154.0	0.00017	0.00000	0.00000	0.00000	154.0
161.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	161.0
168.0	0.00023	0.00000	0.00000	0.00000	168.0
175.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	175.0
182.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	182.0
189.0	0.00012	0.00000	0.00000	0.00000	189.0
196.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	196.0
203.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	203.0
210.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	210.0
217.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	217.0
224.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	224.0
231.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	231.0
238.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	238.0
245.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	245.0
252.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	252.0
259.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	259.0
266.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	266.0
273.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	273.0
280.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	280.0
287.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	287.0
294.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	294.0
301.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	301.0
308.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	308.0
315.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	315.0
322.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	322.0
329.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	329.0
336.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	336.0
343.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	343.0
350.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	350.0
357.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	357.0
364.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	364.0
371.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	371.0
378.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	378.0
385.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	385.0
392.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	392.0
399.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	399.0
406.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	406.0
413.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	413.0
420.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	420.0
427.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	427.0
434.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	434.0
441.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	441.0
448.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	448.0
455.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	455.0
462.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	462.0

3EM-3 SIMULATION

RUN TIME: 02/03/79

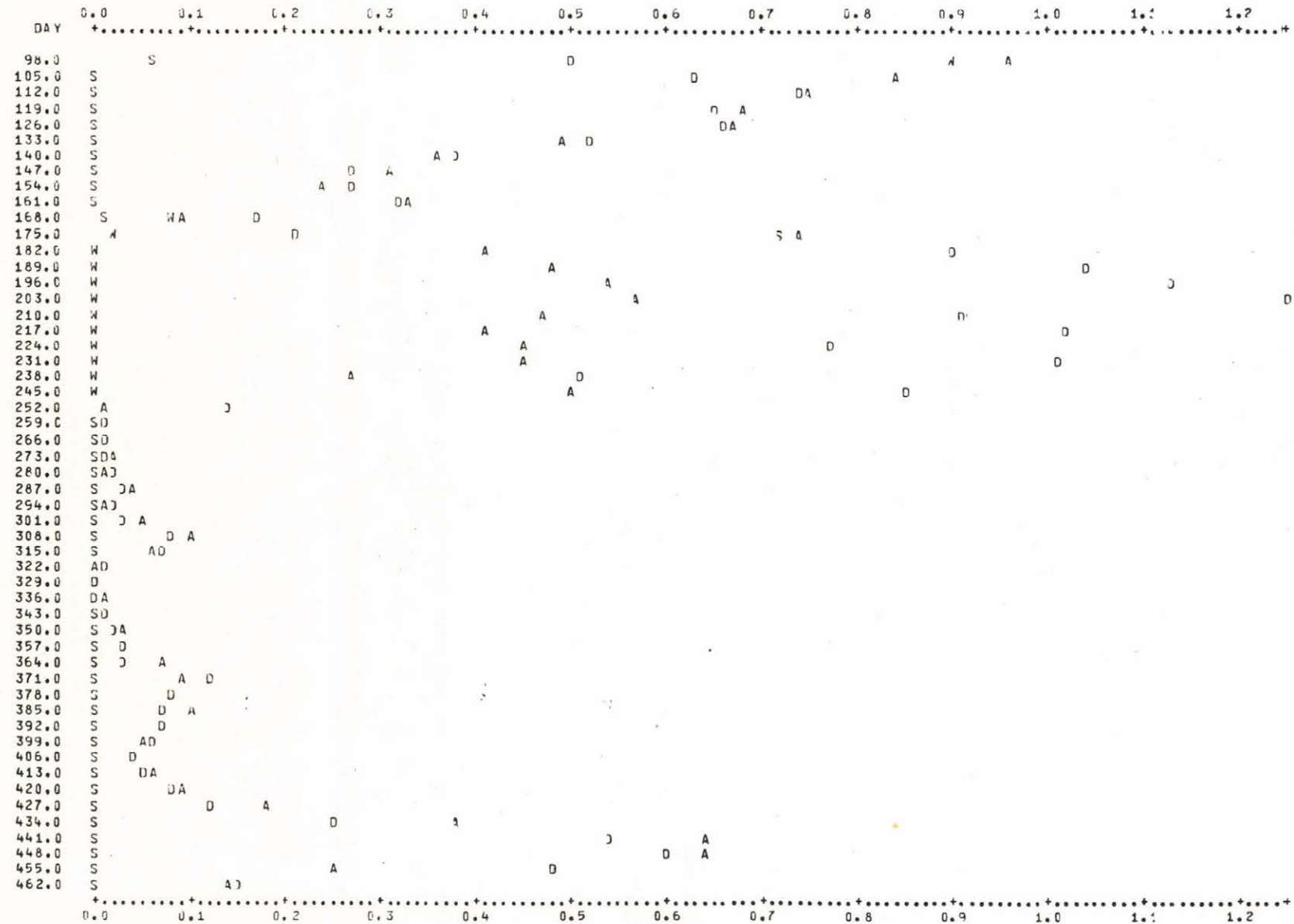
19/18/20

4- 2

VARIABLES PRESENTED:

NAME	PLOT SY133L
SZEMES 3 S	S
SZEMES 3 W	W
SZEMES 3 A	A
SZEMES 3 D	D

PLOTTED RESULTS



171

DAY	SZEMES C P	SZEMES C N	SZEMES C O	DAY
98.0	0.00500	0.07000	2.00000	38.0
105.0	0.01498	0.29514	0.61344	105.0
112.0	0.01239	0.33141	0.64720	112.0
119.0	0.01267	0.38838	0.58223	119.0
126.0	0.01175	0.41050	0.59158	126.0
133.0	0.01472	0.47633	0.47380	133.0
140.0	0.01713	0.52344	0.35003	140.0
147.0	0.01352	0.54517	0.26365	147.0
154.0	0.01834	0.54859	0.23345	154.0
161.0	0.01589	0.51254	0.33826	161.0
168.0	0.02219	0.55011	0.11304	168.0
175.0	0.03230	0.32610	1.41184	175.0
182.0	0.00115	0.35846	1.20505	182.0
189.0	0.03443	0.33855	1.26113	189.0
196.0	0.03400	0.34711	1.32357	196.0
203.0	0.05426	0.34928	1.46729	203.0
210.0	0.01200	0.48501	0.91377	210.0
217.0	0.01093	0.43390	0.89079	217.0
224.0	0.00834	0.50466	0.95325	224.0
231.0	0.00695	0.47386	1.01374	231.0
238.0	0.01819	0.62665	0.39604	238.0
245.0	0.00711	0.49055	0.91239	245.0
252.0	0.02738	0.72866	0.02176	252.0
259.0	0.02968	0.69974	0.01316	259.0
266.0	0.03038	0.66455	0.00750	266.0
273.0	0.03061	0.63160	0.01320	273.0
280.0	0.03069	0.60999	0.01732	280.0
287.0	0.03012	0.57995	0.03862	287.0
294.0	0.03095	0.57355	0.00570	294.0
301.0	0.03012	0.55043	0.04285	301.0
308.0	0.02027	0.52610	0.06577	308.0
315.0	0.02676	0.53100	0.05083	315.0
322.0	0.03075	0.54304	0.00320	322.0
329.0	0.03135	0.53564	0.00117	329.0
336.0	0.03163	0.52910	0.00474	336.0
343.0	0.03182	0.52325	0.00606	343.0
350.0	0.03132	0.51234	0.02569	350.0
357.0	0.03125	0.50932	0.02538	357.0
364.0	0.03138	0.50011	0.05044	364.0
371.0	0.02825	0.48469	0.09844	371.0
378.0	0.02374	0.43600	0.06371	378.0
385.0	0.02343	0.49587	0.05725	385.0
392.0	0.02372	0.50165	0.05579	392.0
399.0	0.02923	0.50701	0.04296	399.0
406.0	0.02376	0.51035	0.02752	406.0
413.0	0.02936	0.50450	0.04534	413.0
420.0	0.02808	0.49352	0.07531	420.0
427.0	0.02953	0.47413	0.13360	427.0
434.0	0.01333	0.42233	0.30221	434.0
441.0	0.01121	0.35265	0.33721	441.0
448.0	0.01107	0.37566	0.53406	448.0
455.0	0.01064	0.43953	0.28307	455.0
462.0	0.02424	0.55572	0.11134	462.0

3EM-3 SIMULATION

RUN TIME: 02/05/79

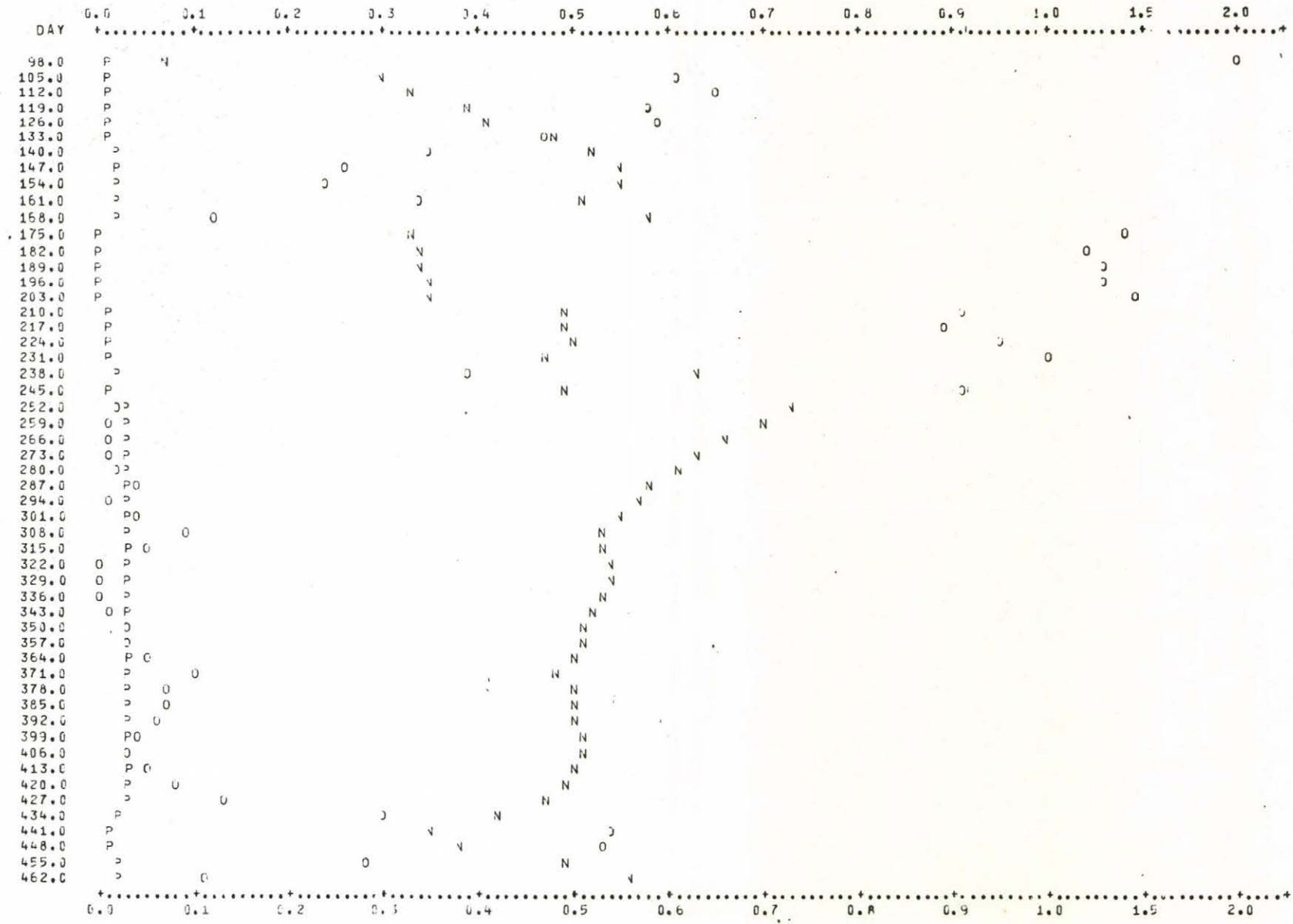
19/18/20

5- 2

VARIABLES PRESENTED:

NAME	PLOT SYMBOL
SZEMES 2 P	P
SZEMES 2 N	N
SZEMES 2 O	O

PLOTTED RESULTS



DAY	SZEMES UPT S	SZEMES UPT W	SZEMES JPT A	DAY
98.0	0.02553	0.30389	0.32333	98.0
105.0	0.00110	0.74532	0.74542	105.0
112.0	0.00016	0.59374	0.59390	112.0
119.0	0.00006	0.56311	0.56317	119.0
126.0	0.00016	0.51905	0.51321	126.0
133.0	0.00125	0.33128	0.39253	133.0
140.0	0.00423	0.30599	0.31327	140.0
147.0	0.00157	0.28222	0.26379	147.0
154.0	0.00103	0.19790	0.19370	154.0
161.0	0.00087	0.27795	0.27982	161.0
168.0	0.00353	0.04314	0.05272	168.0
175.0	0.65651	0.00166	0.85339	175.0
182.0	0.79304	0.00003	0.79307	182.0
189.0	0.95291	0.00004	0.95594	189.0
196.0	1.05719	0.00008	1.05727	196.0
203.0	1.11441	0.00004	1.11445	203.0
210.0	0.93378	0.00035	0.93313	210.0
217.0	0.66620	0.00055	0.66575	217.0
224.0	0.72107	0.00003	0.72100	224.0
231.0	0.82426	0.00029	0.82455	231.0
238.0	0.61161	0.00148	0.61309	238.0
245.0	0.98863	0.00038	0.98301	245.0
252.0	0.60025	0.00547	0.01473	252.0
259.0	0.00023	0.00617	0.00646	259.0
266.0	0.00003	0.00399	0.00403	266.0
273.0	0.00023	0.01557	0.01580	273.0
280.0	0.00015	0.01326	0.01341	280.0
287.0	0.00053	0.03833	0.03367	287.0
294.0	0.00004	0.01183	0.01137	294.0
301.0	0.00001	0.04252	0.04253	301.0
308.0	0.00001	0.07417	0.07416	308.0
315.0	0.00001	0.05516	0.03317	315.0
322.0	0.00000	0.00106	0.00166	322.0
329.0	0.00000	0.00110	0.00110	329.0
336.0	0.00000	0.00129	0.00129	336.0
343.0	0.00000	0.00682	0.00582	343.0
350.0	0.00000	0.02535	0.02535	350.0
357.0	0.00000	0.01928	0.01928	357.0
364.0	0.00000	0.04296	0.04295	364.0
371.0	0.00000	0.05959	0.05359	371.0
378.0	0.00000	0.03359	0.03359	378.0
385.0	0.00000	0.07581	0.07581	385.0
392.0	0.00000	0.05988	0.03389	392.0
399.0	0.00000	0.03459	0.03459	399.0
406.0	0.00000	0.02973	0.02973	406.0
413.0	0.00000	0.04260	0.04260	413.0
420.0	0.00001	0.07756	0.07757	420.0
427.0	0.00000	0.13888	0.13888	427.0
434.0	0.00001	0.32301	0.32302	434.0
441.0	0.00001	0.48291	0.48293	441.0
448.0	0.00003	0.48354	0.48356	448.0
455.0	0.00000	0.03256	0.08256	455.0
462.0	0.00001	0.10814	0.10315	462.0

BEM-3 SIMULATION

RUN TIME: 02/05/79

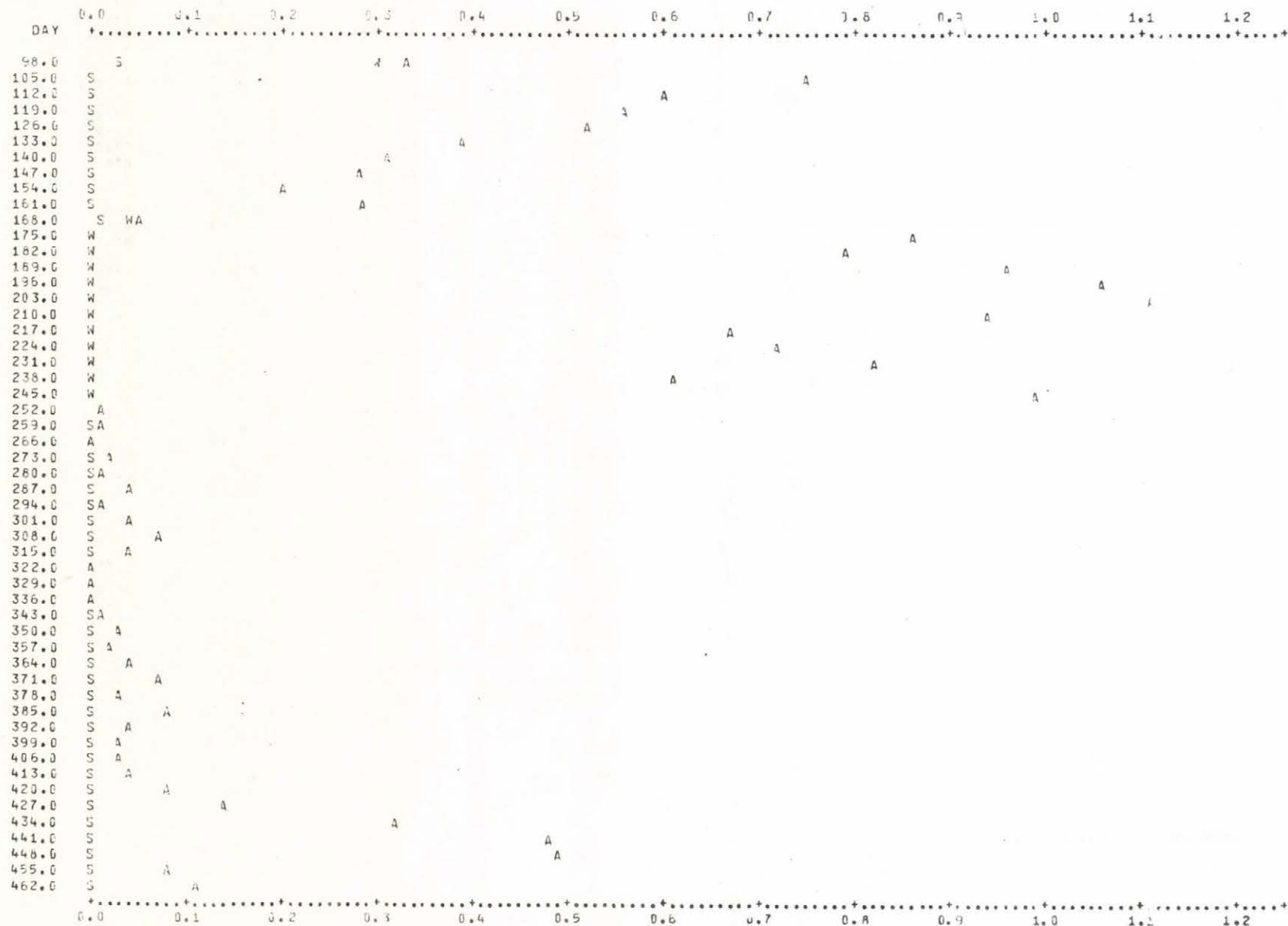
19/18/20

8- 2

VARIABLES PRESENTED:

NAME	PLOT SYMBOL
SZEMES JPT S	S
SZEMES JPT W	W
SZEMES JPT A	A

PLOTTED RESULTS



77

DAY	SEMILOS MORT	SEMILOS MORT	SEMILOS MORT
	S	W	A
96.0	0.10344	0.73764	0.84249
105.0	0.00000	0.68130	0.58097
112.0	0.00000	0.62490	0.68318
119.0	0.00000	0.54345	0.55106
126.0	0.00000	0.50000	0.56194
133.0	0.00000	0.43500	0.43501
140.0	0.00000	0.32210	0.32222
147.0	0.00175	0.27123	0.27237
154.0	0.00000	0.21474	0.21309
161.0	0.00000	0.29370	0.30050
168.0	0.00000	0.08152	0.09379
175.0	1.41145	0.01613	1.42758
182.0	0.00000	0.00000	0.81156
189.0	0.00000	0.00000	0.93217
196.0	1.05750	0.00000	1.07357
203.0	1.32253	0.00000	1.16280
210.0	0.00000	0.00000	0.91176
217.0	0.70531	0.00000	0.75518
224.0	0.00000	0.00000	0.84015
231.0	0.00000	0.00000	0.84219
238.0	0.00000	0.00000	0.50712
245.0	0.00000	0.00000	0.95177
252.0	0.00000	0.00000	0.01585
259.0	0.00000	0.00000	0.01146
266.0	0.00000	0.00000	0.00596
273.0	0.00000	0.00000	0.01301
280.0	0.00000	0.00000	0.01252
287.0	0.00000	0.00000	0.03524
294.0	0.00000	0.00000	0.00978
301.0	0.00000	0.00000	0.07334
308.0	0.00000	0.00000	0.07259
315.0	0.00000	0.00000	0.04429
322.0	0.00000	0.00000	0.00285
329.0	0.00000	0.00000	0.00124
336.0	0.00000	0.00000	0.00364
343.0	0.00000	0.00000	0.00480
350.0	0.00000	0.00000	0.02095
357.0	0.00000	0.00000	0.02114
364.0	0.00000	0.00000	0.00252
371.0	0.00000	0.00000	0.05359
378.0	0.00000	0.00000	0.05256
385.0	0.00000	0.00000	0.06232
392.0	0.00000	0.00000	0.00173
399.0	0.00000	0.00000	0.03117
406.0	0.00000	0.00000	0.02448
413.0	0.00000	0.00000	0.03760
420.0	0.00000	0.00000	0.00391
427.0	0.00000	0.00000	0.11372
434.0	0.00000	0.00000	0.02107
441.0	0.00000	0.00000	0.05015
448.0	0.00000	0.00000	0.49393
455.0	0.00000	0.00000	0.17554
462.0	0.00000	0.00000	0.10461

BEM-3 SIMULATION

RUN TIME: 02/05/79

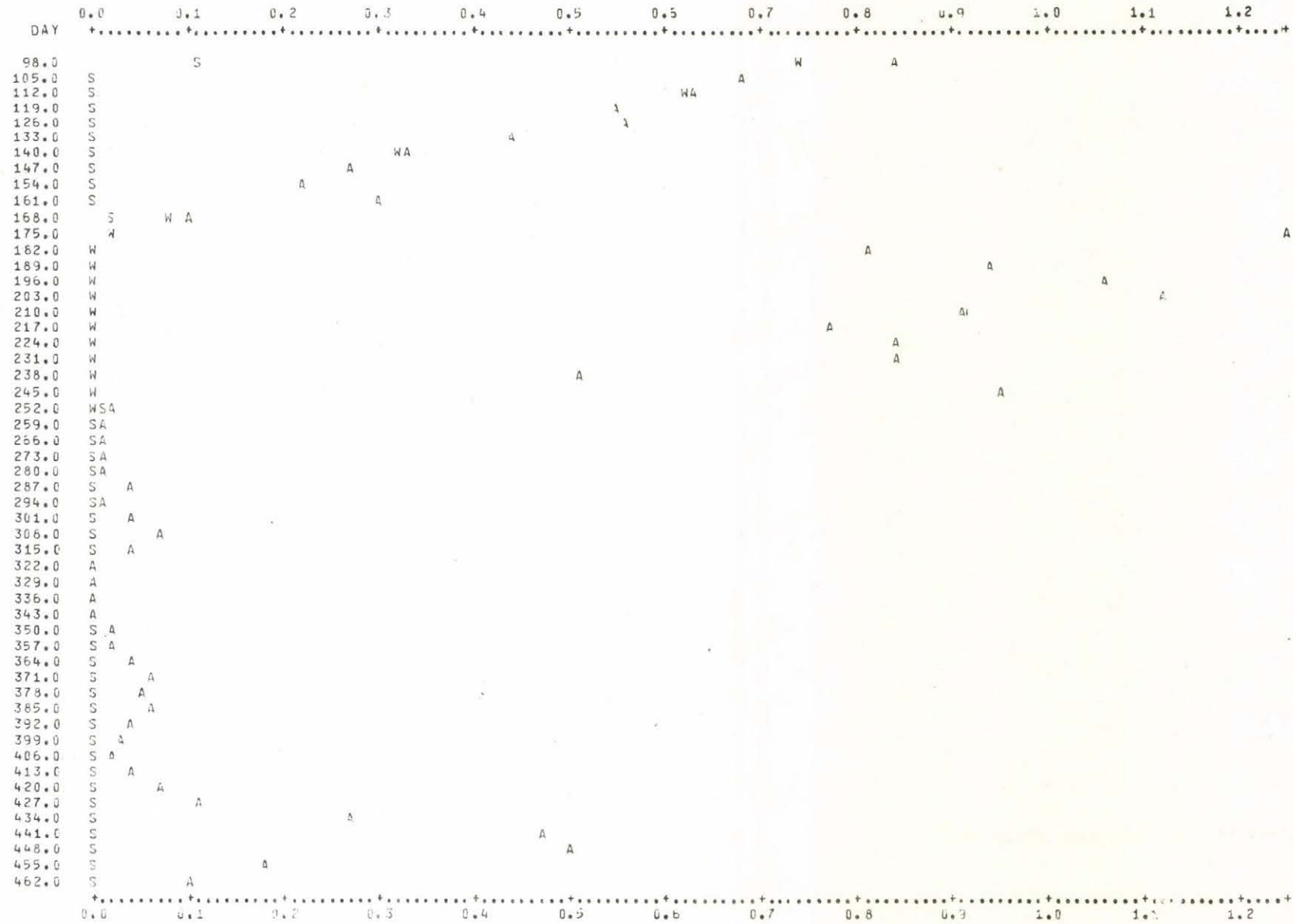
19/18/20

7- 2

VARIABLES PRESENTED:

NAME	PLOT SYMBOL
SZEMES MORT S	S
SZEMES MORT W	W
SZEMES MORT A	A

PLOTTED RESULTS



108

BEM-3 SIMULATION

RUN TIME: 02/07/75

11- 1

DAY	SZONES TEMP	SZONES TEMP	SZONES TEMP
DAY	TEMP	TEMP	TEMP
DAY	TEMP	TEMP	TEMP
98.0	0.27127	0.93171	0.95256
105.0	0.28281	0.93585	0.94551
112.0	0.30044	0.93247	0.95206
119.0	0.23491	0.93751	0.93978
126.0	0.31725	0.97930	0.96526
133.0	0.43943	0.91197	0.94335
140.0	0.45104	0.89455	0.94456
147.0	0.45691	0.92365	0.92516
154.0	0.51111	0.83019	0.94338
161.0	0.50977	0.89357	0.99357
168.0	0.47945	0.85341	0.95970
175.0	0.44573	0.49577	0.97568
182.0	0.59330	0.27158	0.94285
189.0	0.37307	0.41526	0.92460
196.0	0.55301	0.41510	0.97333
203.0	0.29049	0.37373	0.95973
210.0	0.67319	0.59377	0.98756
217.0	0.45771	0.78327	0.99395
224.0	0.54322	0.80342	0.99355
231.0	0.64941	0.79276	0.99969
238.0	0.61172	0.83589	0.99340
245.0	0.72105	0.75377	0.99018
252.0	0.45062	0.94534	0.98165
259.0	0.51211	0.83509	0.99438
266.0	0.32627	0.87712	0.96740
273.0	0.35643	0.96336	0.97542
280.0	0.40601	0.94725	0.98248
287.0	0.46284	0.92092	0.98381
294.0	0.29923	0.89384	0.92882
301.0	0.11304	0.85248	0.87147
308.0	0.15145	0.89477	0.89743
315.0	0.17120	0.99934	0.90980
322.0	0.11620	0.93150	0.85950
329.0	0.14613	0.89796	0.76552
336.0	0.05253	0.91334	0.76526
343.0	0.15917	0.92232	0.79435
350.0	0.43537	0.86585	0.73944
357.0	0.13979	0.85073	0.75231
364.0	0.03420	0.85237	0.73576
371.0	0.03420	0.85357	0.73576
378.0	0.13420	0.85237	0.73576
385.0	0.03420	0.85237	0.73576
392.0	0.03420	0.85237	0.73576
399.0	0.03537	0.85332	0.74126
406.0	0.14043	0.85336	0.75414
413.0	0.03947	0.91310	0.78706
420.0	0.03939	0.85936	0.83721
427.0	0.04043	0.83136	0.75214
434.0	0.18589	0.95936	0.83721
441.0	0.11433	0.93151	0.86912
448.0	0.17049	0.89313	0.91281
455.0	0.13455	0.85890	0.84766
462.0	0.11073	0.97630	0.86138

SEM-3 SIMULATION

RUN TIME: 02/05/79

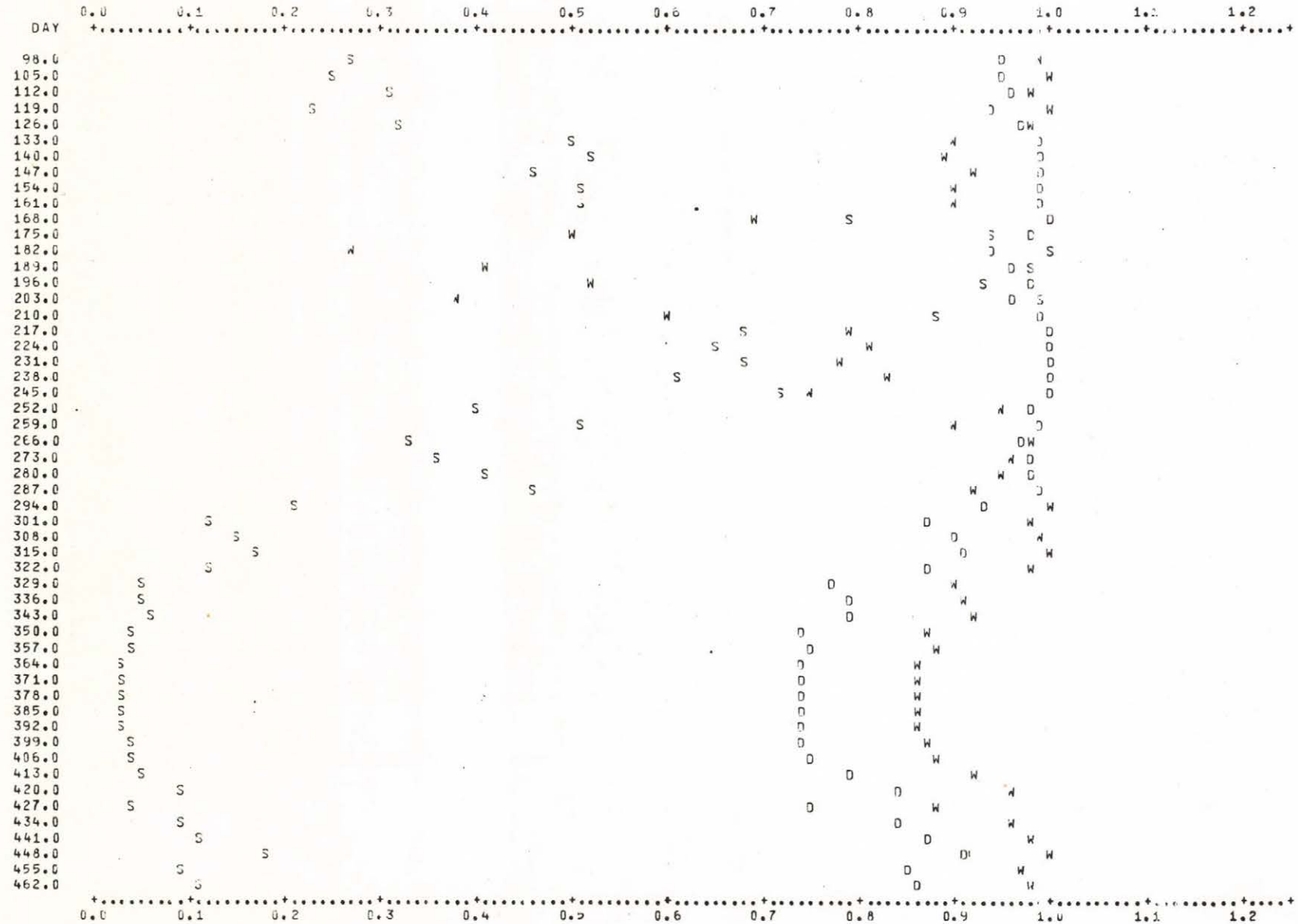
19/18/20

11- 2

VARIABLES PRESENTED:

NAME	PLOT SYMBOL
SZEMES TEMP S	S
SZEMES TEMP W	W
SZEMES TEMP D	D

PLOTTED RESULTS



DAY	SZEMES UL S	SZEMES JP S	SZEMES UN S	SZEMES J S	DAY
98.0	0.25353	0.35714	0.28100	0.25353	98.0
105.0	0.54257	0.62473	0.52108	0.54257	105.0
112.0	0.53796	0.57381	0.64903	0.53796	112.0
119.0	0.32664	0.55459	0.68331	0.32664	119.0
126.0	0.53534	0.56622	0.69522	0.53534	126.0
133.0	0.60760	0.62051	0.72575	0.60760	133.0
140.0	0.59557	0.65955	0.74412	0.59557	140.0
147.0	0.57751	0.67295	0.75178	0.57751	147.0
154.0	0.32133	0.67557	0.75298	0.32033	154.0
161.0	0.52996	0.63937	0.74609	0.52996	161.0
168.0	0.23694	0.71142	0.76319	0.23694	168.0
175.0	0.65180	0.20334	0.64434	0.20334	175.0
182.0	0.75676	0.31938	0.65309	0.31533	182.0
189.0	0.62264	0.33005	0.65268	0.33005	189.0
196.0	0.49901	0.33617	0.65992	0.33617	196.0
203.0	0.45850	0.32110	0.65991	0.32110	203.0
210.0	0.36706	0.57257	0.72333	0.36706	210.0
217.0	0.39107	0.54047	0.73230	0.39107	217.0
224.0	0.40185	0.49821	0.73710	0.40185	224.0
231.0	0.57433	0.43575	0.72471	0.43575	231.0
238.0	0.59035	0.65905	0.77585	0.59533	238.0
245.0	0.44714	0.44123	0.73156	0.44123	245.0
252.0	0.59165	0.75595	0.80195	0.59165	252.0
259.0	0.16314	0.75730	0.79539	0.16214	259.0
266.0	0.14080	0.77144	0.78574	0.14081	266.0
273.0	0.46655	0.77278	0.77921	0.46655	273.0
280.0	0.33972	0.77327	0.77099	0.33972	280.0
287.0	0.45477	0.75932	0.76314	0.45470	287.0
294.0	0.39260	0.77472	0.76113	0.39251	294.0
301.0	0.26989	0.75991	0.75357	0.26993	301.0
308.0	0.24432	0.75553	0.74508	0.24432	308.0
315.0	0.22935	0.75166	0.74683	0.22505	315.0
322.0	0.07556	0.77351	0.75105	0.07555	322.0
329.0	0.22106	0.77696	0.74883	0.22005	329.0
336.0	0.06623	0.77946	0.74616	0.06623	336.0
343.0	0.32522	0.77951	0.74405	0.32522	343.0
350.0	0.24591	0.77681	0.74024	0.24591	350.0
357.0	0.18552	0.77540	0.73910	0.18552	357.0
364.0	0.20234	0.77145	0.73534	0.20234	364.0
371.0	0.25360	0.75639	0.72920	0.25651	371.0
378.0	0.11886	0.75150	0.73373	0.11835	378.0
385.0	0.28975	0.75955	0.73358	0.28975	385.0
392.0	0.20453	0.76139	0.73594	0.20453	392.0
399.0	0.26645	0.76457	0.73800	0.26645	399.0
406.0	0.31345	0.75779	0.73345	0.31345	406.0
413.0	0.30354	0.76935	0.73703	0.30354	413.0
420.0	0.35075	0.75726	0.73275	0.35075	420.0
427.0	0.42153	0.73935	0.72482	0.42053	427.0
434.0	0.39316	0.65228	0.70116	0.39306	434.0
441.0	0.43818	0.55464	0.66207	0.43513	441.0
448.0	0.40476	0.55152	0.67506	0.40476	448.0
455.0	0.10935	0.67441	0.73120	0.10935	455.0
462.0	0.38601	0.72926	0.75534	0.38601	462.0

BEM-3 SIMULATION

RUN TIME: 02/05/79

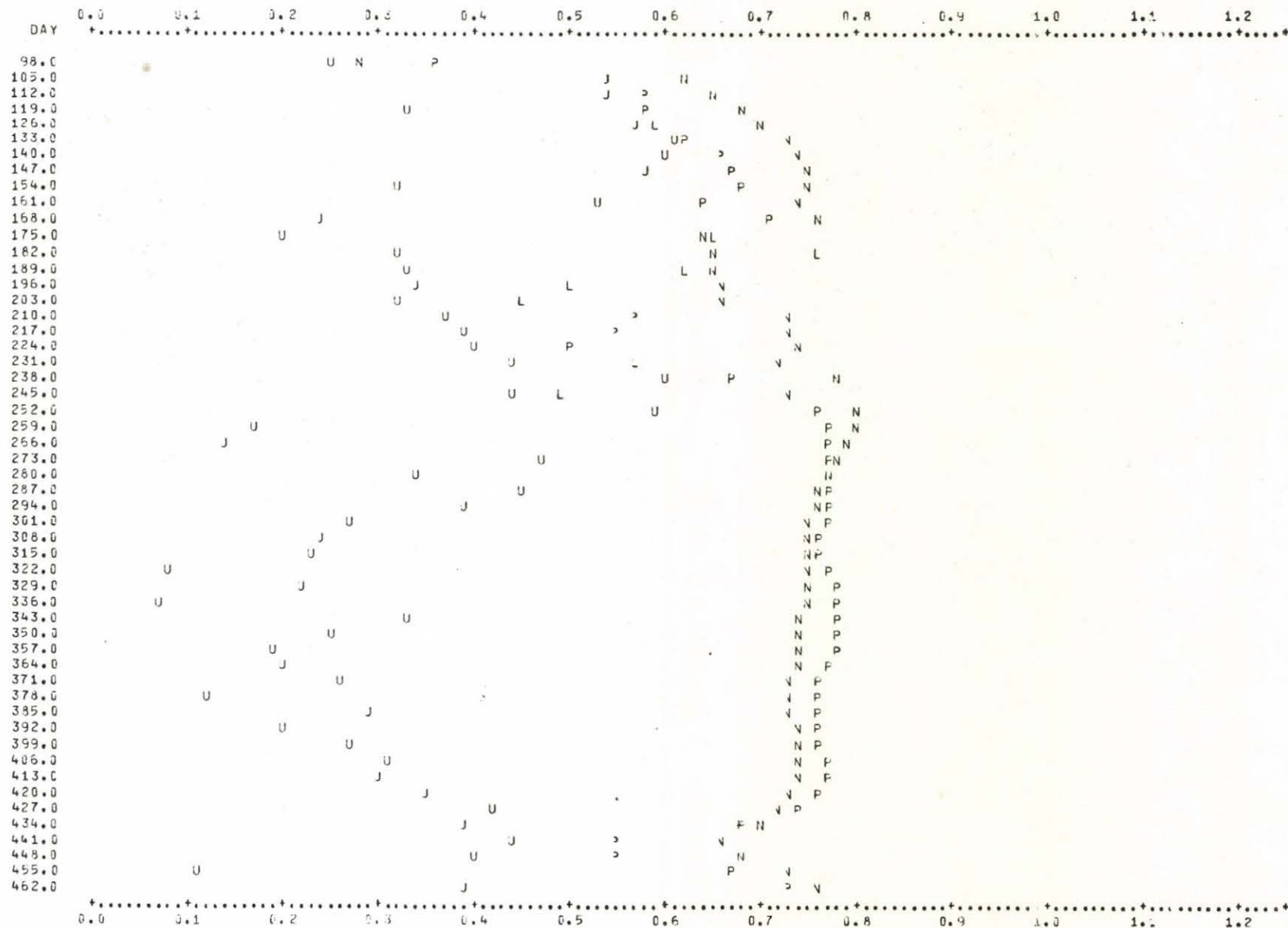
19/18/21

12- 2

VARIABLES PRESENTED:

NAME	PLOT SYMBOL
SZEMES U L S	L
SZEMES UP S	P
SZEMES UN S	N
SZEMES J S	J

PLOTTED RESULTS



DAY	SZEMES UL W	SZEMES JF W	SZEMES UN W	SZEMES J 4	DAY
98.0	0.46196	0.25000	0.16919	0.18919	98.0
105.0	0.49475	0.49472	0.49583	0.49583	105.0
112.0	0.46097	0.45243	0.52447	0.45243	112.0
119.0	0.451966	0.45751	0.56419	0.45751	119.0
126.0	0.49936	0.43321	0.57752	0.43921	126.0
133.0	0.47059	0.43522	0.61357	0.49522	133.0
140.0	0.49338	0.53313	0.63568	0.53313	140.0
147.0	0.43573	0.55249	0.64504	0.55249	147.0
154.0	0.45103	0.55637	0.64552	0.51003	154.0
161.0	0.43550	0.51436	0.65079	0.51435	161.0
168.0	0.42119	0.53654	0.65314	0.42011	168.0
175.0	0.65347	0.13281	0.52054	0.13281	175.0
182.0	0.60566	0.21654	0.53042	0.21654	182.0
189.0	0.64215	0.22815	0.53019	0.22815	189.0
196.0	0.57541	0.23464	0.53540	0.23454	196.0
203.0	0.51331	0.22105	0.53795	0.22105	203.0
210.0	0.47572	0.44570	0.51784	0.44571	210.0
217.0	0.51740	0.42157	0.52212	0.42157	217.0
224.0	0.55392	0.37332	0.52717	0.37332	224.0
231.0	0.53083	0.31654	0.51233	0.31654	231.0
238.0	0.61959	0.54312	0.67525	0.54312	238.0
245.0	0.63933	0.32148	0.62052	0.32143	245.0
252.0	0.61955	0.65016	0.70342	0.61955	252.0
259.0	0.32920	0.65425	0.69332	0.32921	259.0
266.0	0.23270	0.66944	0.66681	0.28271	266.0
273.0	0.57949	0.67111	0.67797	0.57943	273.0
280.0	0.55309	0.67173	0.66837	0.55313	280.0
287.0	0.57033	0.65752	0.65307	0.57633	287.0
294.0	0.53518	0.67356	0.65558	0.53913	294.0
301.0	0.47388	0.66752	0.64724	0.47383	301.0
308.0	0.43249	0.65336	0.63585	0.43243	308.0
315.0	0.34100	0.65724	0.63599	0.34100	315.0
322.0	0.15772	0.67216	0.64414	0.15772	322.0
329.0	0.36320	0.67638	0.64142	0.36821	329.0
336.0	0.15367	0.67828	0.63516	0.15357	336.0
343.0	0.57983	0.67961	0.63559	0.57988	343.0
350.0	0.49247	0.67620	0.63037	0.49247	350.0
357.0	0.33917	0.67556	0.62359	0.38917	357.0
364.0	0.41147	0.65945	0.62305	0.41147	364.0
371.0	0.48425	0.65318	0.61758	0.48425	371.0
378.0	0.25903	0.65703	0.62312	0.25968	378.0
385.0	0.49769	0.65461	0.62305	0.49753	385.0
392.0	0.38316	0.65589	0.52577	0.38915	392.0
399.0	0.45153	0.66034	0.62926	0.45153	399.0
406.0	0.47820	0.66487	0.63002	0.47691	406.0
413.0	0.45962	0.65132	0.62710	0.45952	413.0
420.0	0.48163	0.65179	0.52194	0.48150	420.0
427.0	0.43565	0.62989	0.61247	0.49585	427.0
434.0	0.48734	0.55312	0.58468	0.48734	434.0
441.0	0.48793	0.42766	0.54034	0.42756	441.0
448.0	0.48130	0.42467	0.55599	0.42457	448.0
455.0	0.19312	0.55413	0.62008	0.19312	455.0
462.0	0.42716	0.61776	0.64942	0.42716	462.0

SEM-3 SIMULATION

RUN TIME: 02/05/79

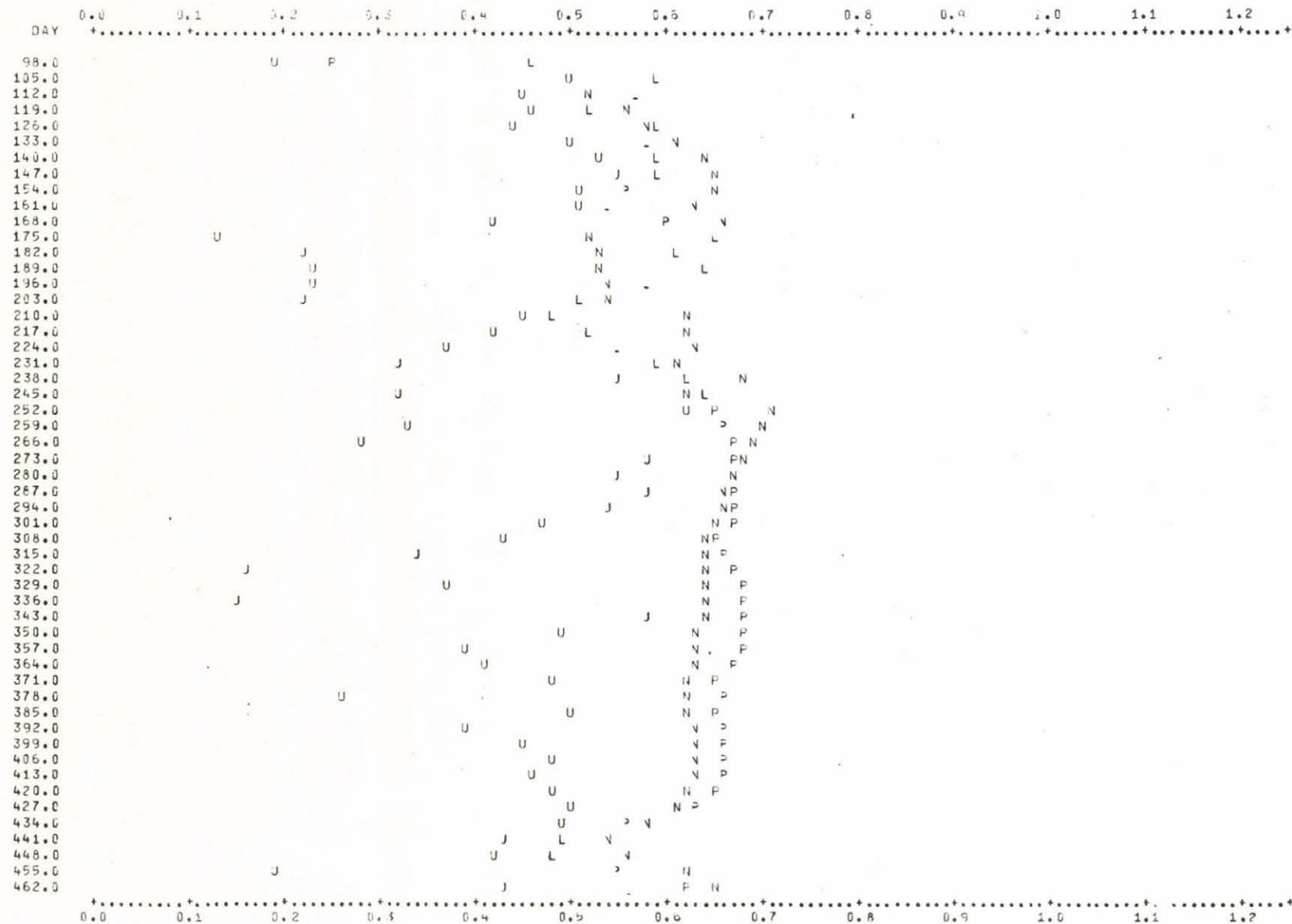
19/18/20

13- 2

VARIABLES PRESENTED:

NAME	PLOT 5Y43DL
SZEMES JL W	L
SZEMES JP W	D
SZEMES JN W	N
SZEMES J W	J

PLOTTED RESULTS



DAY	SZLMES TOTAL-P	SZEMES TOTAL-N	DAY
98.0	0.63035	0.49479	98.0
105.0	0.63383	0.55439	105.0
112.0	0.63386	0.59437	112.0
119.0	0.63500	0.62386	119.0
126.0	0.62914	0.64619	126.0
133.0	0.62812	0.65798	133.0
140.0	0.62637	0.65690	140.0
147.0	0.62615	0.64352	147.0
154.0	0.62503	0.64075	154.0
161.0	0.62451	0.63479	161.0
168.0	0.62560	0.62637	168.0
175.0	0.62335	0.61435	175.0
182.0	0.62194	0.64707	182.0
189.0	0.62079	0.68203	189.0
196.0	0.63176	0.71513	196.0
203.0	0.63381	0.74701	203.0
210.0	0.63231	0.76009	210.0
217.0	0.63196	0.77486	217.0
224.0	0.62659	0.77336	224.0
231.0	0.62535	0.77737	231.0
238.0	0.62635	0.77106	238.0
245.0	0.62763	0.75555	245.0
252.0	0.62944	0.74959	252.0
259.0	0.63003	0.70456	259.0
266.0	0.63053	0.66696	266.0
273.0	0.63137	0.63653	273.0
280.0	0.63118	0.61291	280.0
287.0	0.63111	0.59345	287.0
294.0	0.63130	0.57632	294.0
301.0	0.62123	0.55547	301.0
308.0	0.63052	0.55793	308.0
315.0	0.63030	0.55247	315.0
322.0	0.63091	0.54920	322.0
329.0	0.63139	0.54723	329.0
336.0	0.63175	0.53174	336.0
343.0	0.63200	0.52573	343.0
350.0	0.63206	0.52213	350.0
357.0	0.63200	0.52009	357.0
364.0	0.63176	0.51800	364.0
371.0	0.63103	0.52278	371.0
378.0	0.63080	0.52399	378.0
385.0	0.63056	0.52474	385.0
392.0	0.63050	0.52576	392.0
399.0	0.63058	0.52528	399.0
406.0	0.63073	0.52467	406.0
413.0	0.63071	0.52281	413.0
420.0	0.63030	0.52759	420.0
427.0	0.62944	0.52716	427.0
434.0	0.62780	0.53710	434.0
441.0	0.62676	0.56241	441.0
448.0	0.62714	0.59333	448.0
455.0	0.62777	0.61725	455.0
462.0	0.62791	0.60543	462.0

BEM-3 SIMULATION

RUN TIME: 02/05/79

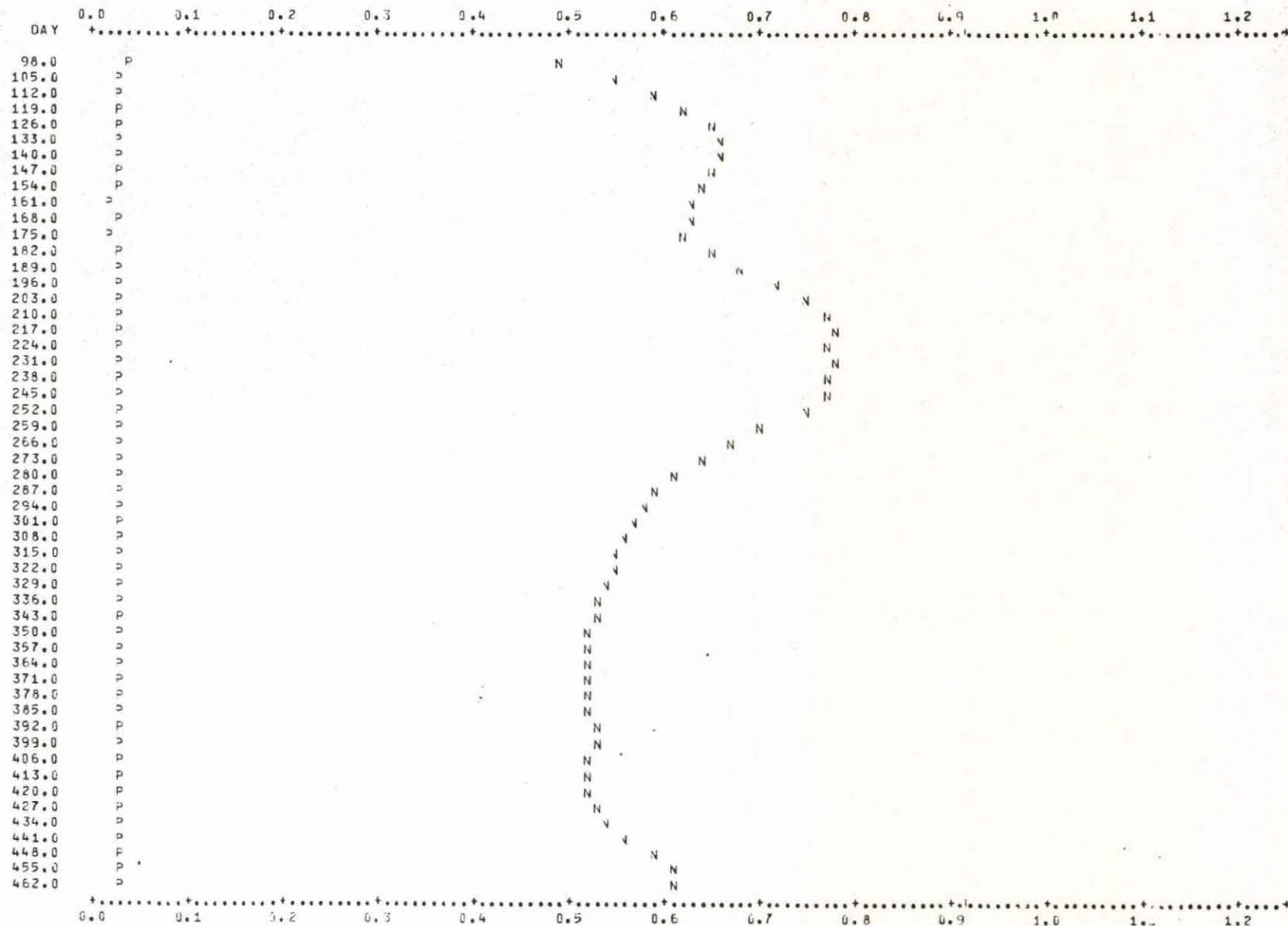
19/18/20

4- 2

VARIABLES PRESENTED:

NAME	PLOT SYMBOL
SZEMES TOTAL-P	P
SZEMES TOTAL-H	N

PLOTTED RESULTS



A TANULMÁNYOK sorozatban 1978-ban megjelentek:

- 74/1978 Vortrüge über das graphische Display GD'71
- 75/1978 Vaskövi István - Gallbavy Márta: Anyagszétválasztási rendszerek tervezésének és optimális üzemeltetésének általános megközelítése
- 76/1978 Somló János - Nagy Judit: Módszer munkadarabok forgácsoló megmunkálási folyamatának optimalizálására.
- 77/1978 Szászné Turchányi Piroska: Optimalizálási feladatok csomagkapcsolt számítógéphálózatok tervezésénél
- 78/1978 Darvas Péter - Gallai István - Hosszu Péter - Kramer Gergely: Papers on Computer Graphics
- 79/1978 Dr. Adolf Kotzauer:
Beschriftung und Bemassung von automatisch erstellten Zeichnungen unter Benutzung des graphischen dialogs
- 80/1978 Studies in Applied Stochastic Programming I.
- 81/1978 Peter Bonitz: Ein Beitrag zur Theorie des Entwurfs doppelt gekrümmter Flächen unter differentialgeometrischen und rechentechnischen Aspekten.
- 82/1978 Tankó József: Szabályos job-folyam párok ütemezésének vizsgálata I./Technikai okokból 1979-ben jelent meg/
- 83/1978 Tankó József: Szabályos job-folyam párok ütemezésének vizsgálata II./Technikai okokból 1979-ben jelent meg/
- 84/1978 Bányász Csilla - Keviczky László: Discrete Time Identification of Linear Dynamic Process
- 85/1978 Dr. Hoffmann Péter: Számítógépes szerszám-gépvezérlés egy alkatrészprogramozási módszere
- 86/1978 Ruda Mihály: A SIS77 statisztikai információs rendszer kialakításának szempontjai, alkalmazásának és továbbfejlesztésének lehetőségei



87/1978 Téli iskola - Operációs rendszerek elmélete

A TANULMÁNYOK sorozatban 1979-ben megjelentek:

- 88/1979 Renner Gábor - Gaál Balázs - Hermann Gyula -
Horváth László - Várady Tamás: Szoborszerű felületek
tervezése és megmunkálása
- 89/1979 Ruda Mihály: A SIS77 statisztikai információs rend-
szer /a felhasznált számítástechnikai eszközök, a
rendszer szerkezete és programjai/
- 90/1979 Bányász Csilla - Keviczky László: Optimum Insensitivity
of the Linear-continuous Transformation
- 91/1979 Téli iskola /Szentendre/
- 92/1979 Andor László: Kisgépes adatbázis kezelő rendszer

