

ÚJV 5385 - T

F. Pazdera, M. Valach

**TESTOVÁNÍ PROGRAMU PIN NA EXPERIMENTECH
ZE ZPRÁVY CENPD - 218**

Report

Řež - srpen - 1980

NUCLEAR RESEARCH INSTITUTE

ŘEŽ – CZECHOSLOVAKIA

INFORMATION CENTRE

.....

ÚJV 5385 - T

F. Pazdera, M. Valach

TESTOVÁNÍ PROGRAMU PIN NA EXPERIMENTECH
ZE ZPRÁVY CENPD - 218

Report

Řež - srpen - 1980

1. 4. 1978 14. 12. 1978 14. 12. 1978

TESTOVÁNÍ PROGRAMU PIN NA EXPERIMENTECH ZE SPRÁVY GENPE - 216

abstrakt

Práva se zabývá dalším ověřením vhodnosti programu PIN pro termomechanické modelování palivových článků lehkvodních reaktorů. Práva doplňuje studii /1/, ve které je uvedena první část ověřování programu, a dále potvrzuje vhodnost programu pro stacionární výpočty palivových článků lehkvodních reaktorů.

EVALUATION OF CODE PIN IN EXPERIMENTS FROM REPORT GENPE - 216

Abstract

This report describes further evaluation of computer code PIN - code for thermomechanical modelling of light water reactor fuel rods. The report supplements the study /1/, in which is described the first part of the code evaluation, and confirms suitability of the code for stationary modelling of light water reactor fuel rods.

ÚV 575 - T

© Nuclear Research Institute - Řež near Prague - Czechoslovakia

OBSAH:

1. Abstrakt	str.
2. Úvod	1
3. Vybrané modely použití v programu	1
4. Přepočítání jednotlivých experimentů	3
4.1. Varianta A	3
4.2. Varianta B	11
4.3. Varianta C	16
4.4. Varianta D	24
5. Zhodnocení programu	27
6. Závěr	28
7. Literatura	28

... na volně navazuje na výsledná integrálního termomechanického modelu ...

... je vhodné k modelování ... Pro posuzování kontaktní ...

... V PRŮBĚHU

... nejdůležitější změny zabudované v pro- ...

... výpočet je však prováděn pouze ...

... velikost denifikace paliva je ...

... (1)

... } @ < 10,08

... hustota paliva,

... paliva a

... paliva.

... Stejně jako ...

... je závislé pouze na teplotě ...

T °C	0	800	1000	1200	1400	1800	2000	2200	2600
F	0	0,0065	0,0315	0,1085	0,2712	0,7394	0,8975	0,9710	1,00

- Časově závislý model /5/ počítá lokální relativní únik plyných produktů štěpení z paliva v závislosti na čase, t [hod], lokální teplotě, T [°K], hustotě paliva ρ [% TH] a předešlé ozařovací historii. Lokální relativní únik plyných produktů štěpení na konci m -toho časového kroku je určen vztahem (2)

$$F = \sum_{i=1}^N \Delta n_i / \sum_{i=1}^N P_i \Delta t_i, \quad \text{kde} \quad (2)$$

Δt_i [h] délka i -tého časového kroku,
 P_i [mol/h] rychlost produkce plyných produktů štěpení v i -tém časovém intervalu,
 n_i [mol] množství plyných produktů štěpení uvolněných na konci i -tého časového intervalu stanovené vztahem (3).

$$\Delta n_i = P_i \cdot \left[\Delta t_i - \frac{1 - k_i}{k_i} \cdot (1 - \exp(-k_i \Delta t_i)) \right] + C_{i-1} [1 - \exp(-k_i \Delta t_i)], \quad \text{kde} \quad (3)$$

C_i [mol] množství plyných produktů štěpení neuvolněných z paliva na konci i -tého časového intervalu ($C_i = \sum_{j=1}^i P_j \Delta t_j - n_i$),

$$k_i = 0,25 \cdot \exp(-14800/T),$$

$$k_i' = \exp(-6320/T + 33,95 - 0,338 \cdot \rho).$$

Creepové deformace materiálu pokrytí je v programu PIN korelována závislostí (4) z /5/.

$$\dot{\epsilon}_C = k \cdot \phi \cdot (1/\sigma + B \cdot e^{C/\sigma}) \cdot e^{-\frac{10000}{RT}} \cdot t^{-1/2}, \quad \text{kde} \quad (4)$$

$$k = 5,129 \cdot 10^{-29}; B = 7,252 \cdot 10^2; C = 4,967 \cdot 10^{-8}; R = 1,987$$

$\dot{\epsilon}_C$ [1/s] - creepová rychlost,
 ϕ [n/m² s] - tok rychlých neutronů ($E > 1$ MeV),
 σ [Pa] - napětí,
 t [s] - čas
 T [°K] - teplota.

Drobný popis ostatních modelů uvažovaných v programu PIN je uveden v /3/.

ICDP = 1	IDSWL = 0	IGEN = 0	NTIME** =
ICOR = 0	IGROW = 1	ICOND = 0	ISWEL = 1
ICREP = -1	ILEWIN** =	N = 20	
ICREPS = 0	IPEAK** =	NCLAD = 0	x pro PIN-1, ILEWIN = 9
IDENSP = 1	IPROPL** =	NCLADS = 0	PIN-3, ILEWIN = 8
IECG = 1	IRELOC = 1	NPLK = 0	** hodnoty proměnných IPEAK, IPROPL,
IECT = 1	IRELSE = 0	NPLKS = 0	IT, NPOW, NPRFIL a NTIME se mění
IEPD = 1	IRL = 0	NPUEL = 0	dle konkrétního zadání ozařovací
IEPSW = 1	IRSTR = 2	NPUELS = 0	historie.
IEXPAN = 1	ISTOR = 1	NOH = 0	
IGAS = 1	IT** =	NPOW** =	
ICRACK = 1	MINI = 0	NPRFIL** =	

Tabulka 3.1.: Seznam řídicích proměnných standardně uvažovaných v předkládaných výpočtech.

4. PŘEPOČET JEDNOTLIVÝCH EXPERIMENTŮ

Programem PIN byly přepočteny čtyři varianty palivových článků označených A + D /2/, přičemž varianta B sestávala ze dvou článků s různou ozařovací historií. Články byly ozařovány v různých reaktorech. Rozsah nejdůležitějších parametrů je pro přehled uveden v tab.

4.1. Ve všech případech byla k dispozici řada experimentálních údajů. Teploty v centru paliva měřené termočlánky nebo stanovení na základě metalografického rozboru, množství štěpných produktů uvolněných z paliva, axiální a radiální deformace pokrytí, mezera palivo pokrytí ve studeném stavu a velikost vytvořeného centrálního otvoru v palivu. Grafické znázornění výsledků bylo poněkud upraveno oproti /2/, tak aby bylo přehlednější a přímo porovnatelné s výsledky programu PIN. Vynášené body představují vždy koncovou hodnotu časového kroku s konstantním výkonem. Hodnota po skokové změně výkonu není vynesena. Jednotlivé body jsou pro přehled spojeny úsečkami, které však mezi body nerepresentují skutečný stav ve kterém se palivový článek nachází. Popis jednotlivých článků a ozařovacích podmínek je úplný, aby bylo možno provést dle zprávy i testování jiných programů.

Tabulka 4.1.: Parametry palivových článků

Parametr	Varianta A	Varianta B		Varianta C	Varianta D	Rozmezí
		X - 260	X - 264			
Hustota paliva, % TH	95,5	96,3	97,6	94,25	93,0	93,0+97,6
Densifikace paliva, % TH	1,0	0	0	4,5	3,5	0 + 4,5
Průměr paliva, mm	12,54	18,55	18,55	7,42	9,64	7,42+18,55
Mezera palivo pokrytí (na poloměru, mm)	0,030	0,055	0,055	0,070	0,108	0,030+0,108
Tloušťka pokrytí, mm	0,470	0,546	0,546	0,546	0,660	0,470+0,660
Normální tlak He, MPa	0,1	0,1	0,1	0,33	0,1	0,1 + 0,33
Tlakový spád na pokrytí, MPa	2,79	7,89	7,89	0	13,00	0 + 13
Maximální lineární výkon, kW/m	54,5	65,9	68,9	61,0	26,1	26,1+68,9
Maximální tok rychlých neutronů, 10^{17} n/m ² s	3,3	1,0	1,0	0,1	7,5	0,1 + 7,5
Střední vyhoření, MWd/t	9510	1538	2,1	16990	13200	2,1+16990

4.1. Varianta A

Jako varianta A je označeno přepočítání experimentu provedeného AB Atomenergi v letech 1965 a 1966 na těžkovodním varném reaktoru Halden v Norsku /2/.

Popis parametrů palivového článku je uveden v tab. 4.1.1. V tab. 4.1.2. je uvedeno axiální rozložení výkonu v palivovém článku. Závislost některých údajů na lineárním výkonu je v tab. 4.1.3 a v tab. 4.1.4 je ozařovací historie obr. 4.1.1. Výsledky modelování palivového článku programem PIN jsou vyneseny na obr. 4.1.2 + 4.1.4. V tab. 4.1.5 jsou porovnány predikce teplot v centru paliva s teplotami měřenými termočlánkem a v tab. 4.1.6 je porovnána predikce množství uvolněného plynu z paliva s experimentem.

Článek byl přepočítán programem PIN dvakrát. Jednou se standardním modelem uvolňování plyných produktů z paliva /6/ (označeno jako PIN-1) a po druhé s časově závislým modelem /5/ (označeno jako PIN-3). Experimentálně zjištěné uvolnění štěpných produktů z paliva činilo 2,3%. Výpočet PIN-1 dával hodnoty 8,86% a PIN-3 3,26%, což v druhém případě je v relativně dobré shodě s experimentem. Teploty v centru paliva 4. axiálního segmentu byly měřeny termočlánkem. Při vyhoření 0 MWd/t byly v závislosti na výkonu změřeny teploty 543,3°C, 971,1°C a 1437,8°C. Oběma výpočty programem PIN byly stanoveny prakticky totožné teploty 519,4°C, 869,2°C a 1313,0°C. Při vyhoření 4710 MWd/t byly změřeny teploty 598,9°C, 1032,2°C a 1232,2°C. Výpočtem PIN-1 byly stanoveny teploty 583,2°C, 933,3°C a 1128,0°C a výpočtem

300-3 100,1°C, 962,40 a 1107,00. Teplota plynového pláma experimentálně měřená při 100°C. Frekvence tepelného proudění v reálném plánu se shoduje s experimentem.

Tabulka 4.1.1.: Varianta A

Vstupní data pro šlánek

Vnější průměr paliva	12,54 mm	(0,4935 in)
Vnitřní průměr paliva (tableta s otvorem)	11,194 mm	(0,4407 in)
Výška palivové tablety	8,980 mm	(0,3534 in)
Aktivní výška sloupce paliva	1,2145 m	(0,4641 in)
Hustota paliva	20,5 g TH	
Densifikace paliva	1 g TH	
Obohacení paliva	5 g U - 100	
Velikost zrn paliva	1 µm	
Objem osokových vybrání	2736,6 mm ³	(0,167 in ³)
Průměr šokových vybrání	11,125 mm	(0,438 in)
Drsnost povrchu paliva	1,2100 µm	(0,000048 in)
Drsnost povrchu pokrytí	0,30697 µm	(0,000012 in)
Vnitřní průměr pokrytí	10,50 mm	(0,4134 in)
Hloušťka pokrytí	0,4878 mm	(0,0192 in)
Teplota plynového pláma	260°C	(500°F)
Složení plynového pláma	He	
Normální tlak plynového pláma	0,10135 MPa	(14,7 psia)
Objem plynového pláma	4916,1 mm ³	(0,3 in ³)
Tlak chlazení	0,9 MPa	(130 psia)

Tabulka 4.1.2.: Varianta A

Axiální rozložení výkonu

Axiální segment	Relativní výkon	Charakteristika
1	0,705	bez otvoru
2	0,945	bez otvoru
3	1,000	bez otvoru
4 (termošlánek)	0,938	s otvorem
5	0,842	s otvorem
6	0,634	s otvorem

Tabulka 4.1.3.: Varianta A

Závislost některých parametrů na lineárním výkonu

lineární lineární výkon paliva [kW/m] ([kW/ft])	teplota chlazení [°C] ([°F])	Vnější teplota pokrytí [°C] ([°F])	Teplotní koeficient [1/°C] ([1/°F])
0,0 (0,0)	231,7 (449)	231,7 (449)	0
50,0 (17,24)	231,7 (449)	217,0 (417)	3,10 ⁻⁵

Tabulka 4.1.4.: Varianta A

Ozařovací historie

Čas	Maximální výkon	
	kW/m	kW/ft
0	51,5	15,7
295	45,3	13,8
308	54,5	16,6
1366	51,5	15,7
2796	48,2	14,7
2803	0,0	0,0
2810	42,3	12,9
4281	45,3	13,8
6271	40,7	12,4
6794	42,3	12,9
6811	54,5	16,6

Tabulka 4.1.5.: Varianta A

Porovnání predikce teplot v centru paliva

Výšeřní MSd/t	Program	Teplota v centru paliva °C při výkonu kW/m					
		16,4 kW/m		32,8 kW/m		48,2 kW/m	
0	EXPERIMENT	543,3	rozdíl od experimentu	971,1	rozdíl od experimentu	1437,8	rozdíl od experimentu
	BEHAVE-4	545,5	2,2	958,9	-12,2	1303,3	-134,5
	COMETHE-III H	506,7	-36,6	810,0	-161,1	1281,7	-156,1
	CYGRO - 3	541,7	-1,6	921,7	-49,4	1414,4	-23,3
	FMODEL	562,2	18,9	976,1	5,0	1416,1	-21,7
	GAPCON-THERMAL-1	584,4	41,1	992,2	21,1	1373,3	-64,5
	LIPE-THERMAL-1	571,1	27,8	950,0	-21,1	1433,3	-4,5
	PIN - 1	519,4	-23,9	869,1	-102,0	1311,1	-126,7
	PIN - 3	519,4	-23,9	869,2	-101,9	1313,0	-124,7
4710		16,4 kW/m		32,8 kW/m		48,2 kW/m	
	EXPERIMENT	598,9		1032,2		1232,2	
	BEHAVE - 4	524,4	-74,1	875,5	-156,6	1047,7	-190,5
	COMETHE-III H	632,2	33,3	956,1	-76,1	1106,7	-125,5
	CYGRO - 3	568,3	-30,6	1001,1	-31,1	1235,0	2,8
	FMODEL	495,5	-103,3	888,9	-143,3	1094,4	-137,7
	GAPCON-THERMAL - 1	-	-	-	-	1016,7	-215,5
	LIPE-THERMAL-1	571,7	-27,2	1037,8	5,6	1271,7	39,5
	PIN - 1	583,2	-15,7	933,3	-98,9	1128,0	-104,2
PIN - 3	602,1	3,2	962,4	-69,2	1157,0	-75,2	
10570		51,0 kW/m					
	EXPERIMENT	-					
	BEHAVE - 4	1356,7					
	COMETHE-III H	1443,3					
	CYGRO - 3	1747,2					
	FMODEL	1402,8					
	GAPCON-THERMAL - 1	1381,1					
	LIPE-THERMAL-1	1734,4					
	PIN - 1	1649,0					
PIN - 3	1537,0						

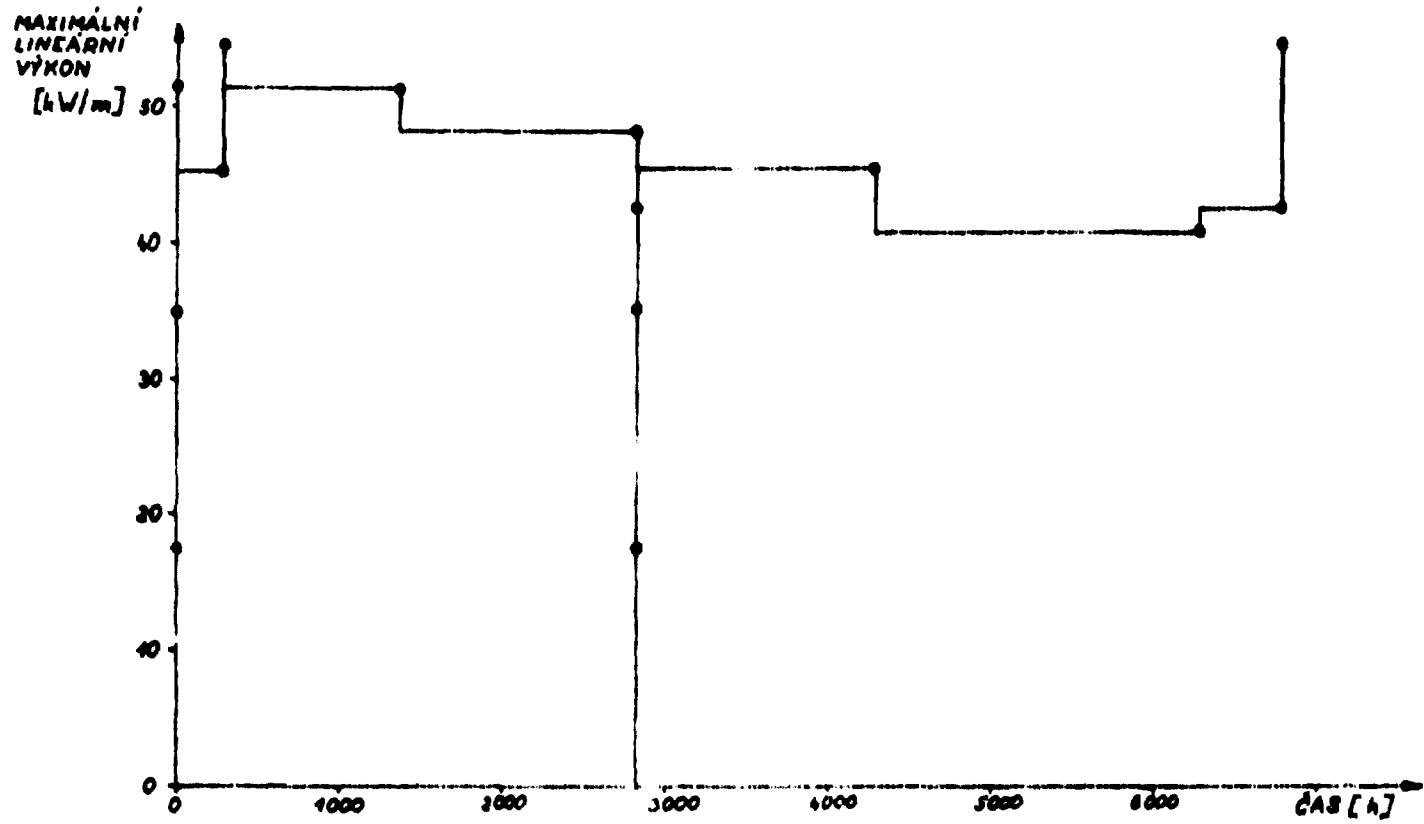
Tabulka 4.1.6.: Varianta A

Porovnání predikce uvolnění štěpných plynů z paliva

	Relativní množství uvolněného plynu %
EXPERIMENT	2,3
BEHAVE - 4	1,1
COMETHE - III H	2,1
CYGRO - 3	-
FMODEL	1,1
GAPCON - THERMAL - 1	0,1
LIPE - THERMAL - 1	1,5
PIN - 1	8,86 (2,12) ^a
PIN - 3	3,26

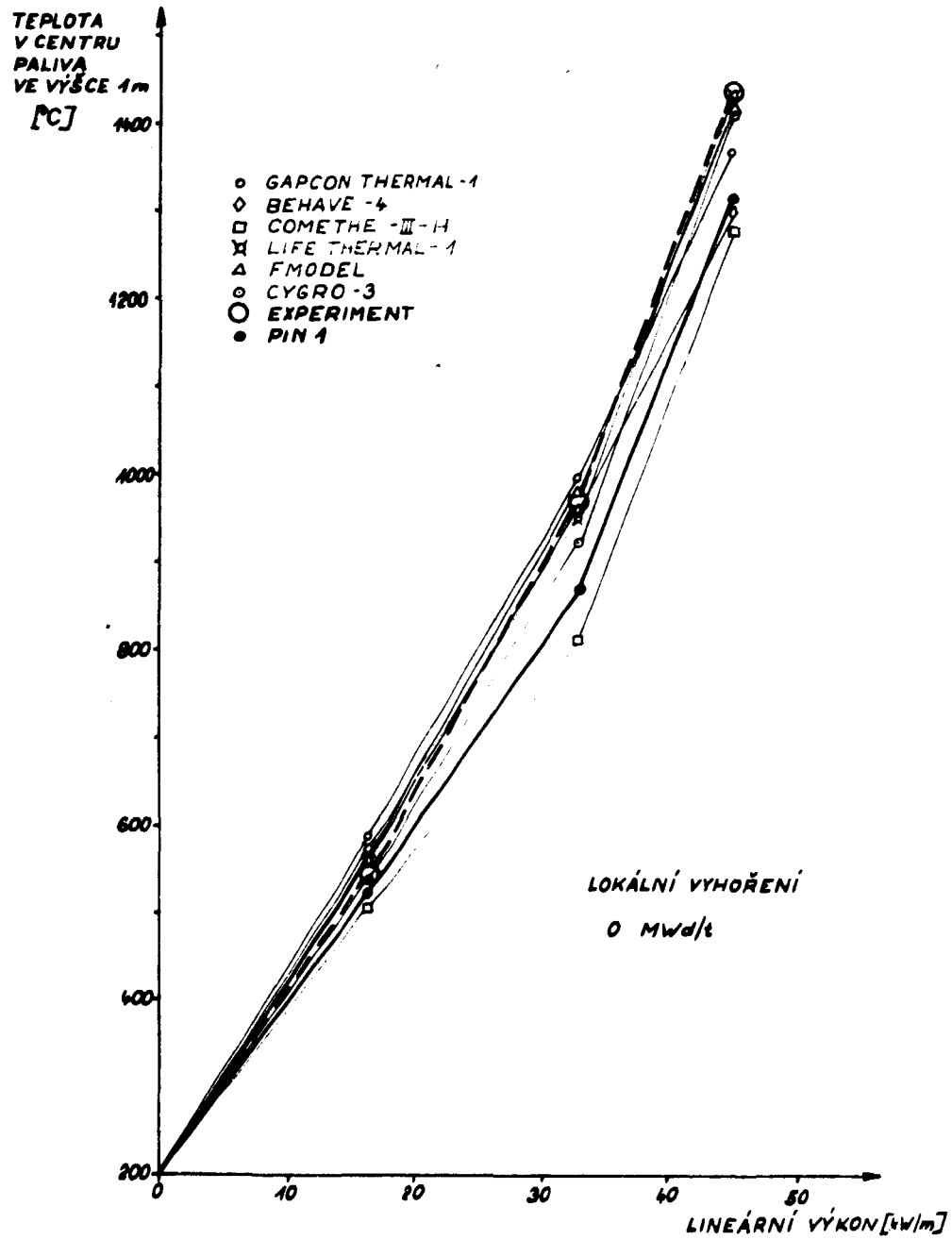
^a před posledním zvýšením výkonu.

VARIANTA - A



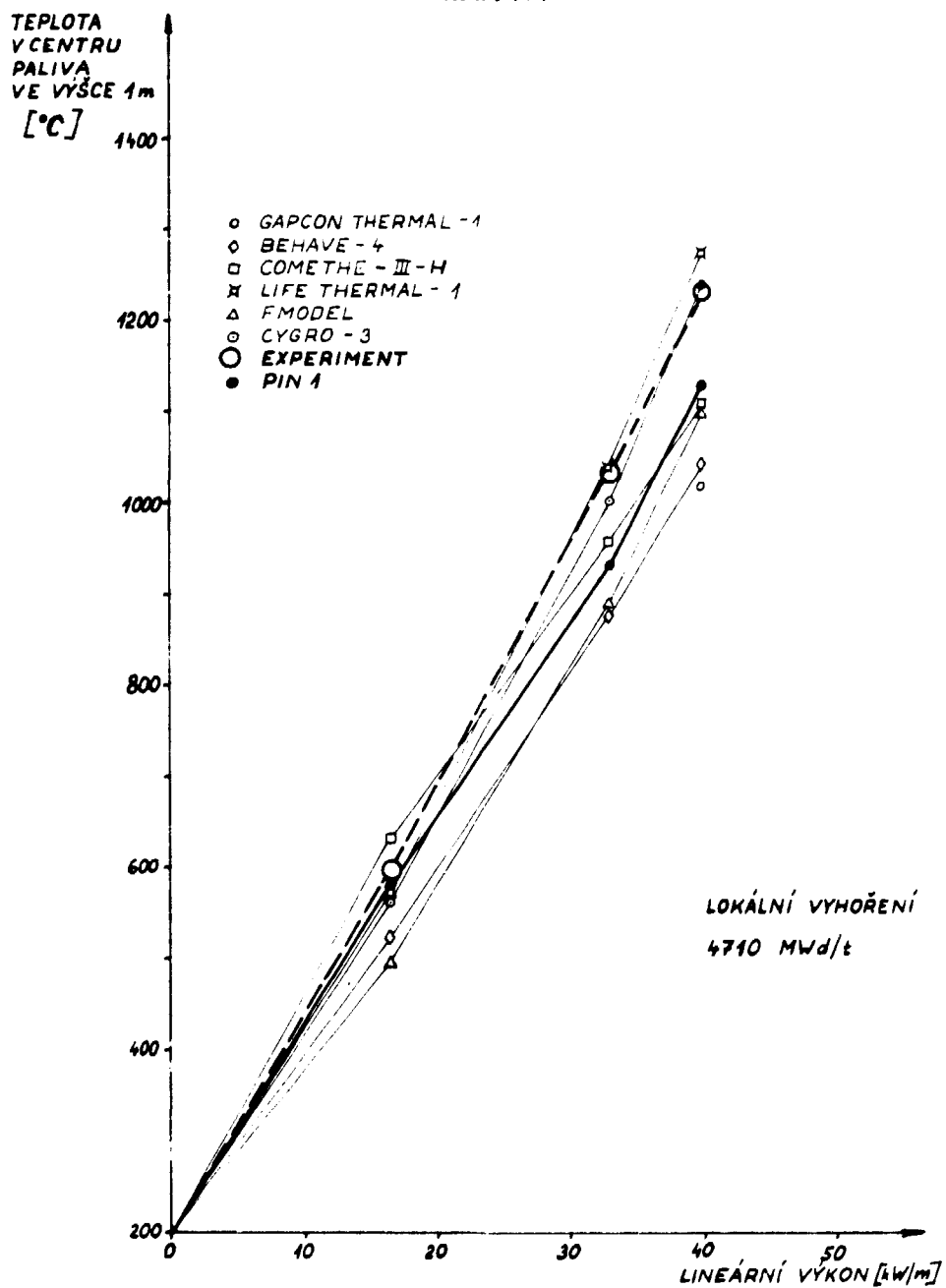
Obr. 4.3.1.

VARIANTA - A



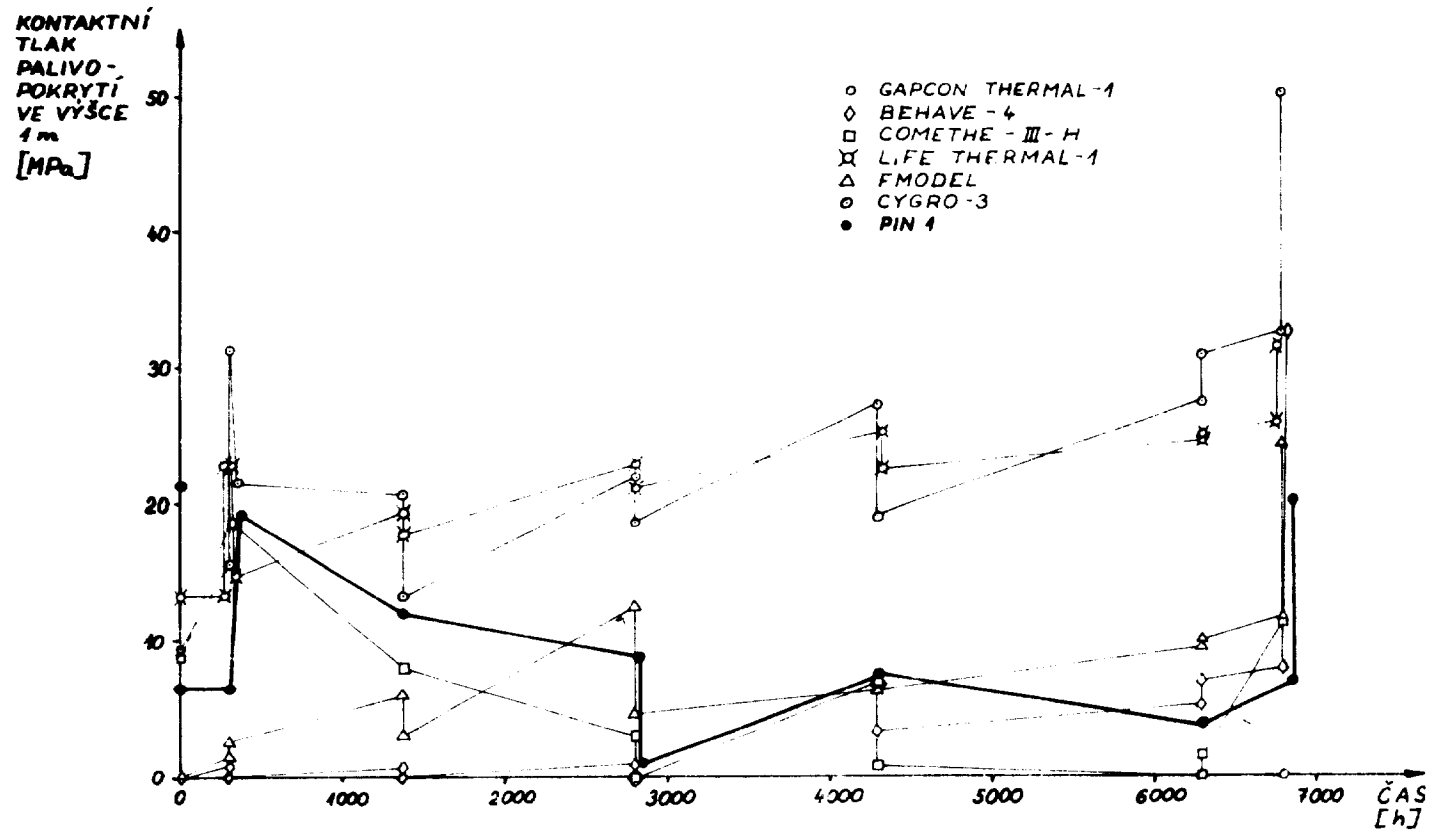
Obr. 4.1.2.

VARIANTA - A



Obr. 4.1.3.

VARIANTA - A



Obr. 4.1.4.

4.2. Varianta B

Varianta B je označen přepočít experimentálních průběhů ABEH v reaktoru NKA. Přepočítavy jsou dva podobné články (X - 260 a X - 264) s odlišnou označovací historií [2].

Popis parametrů palivového článku je uveden v tab. 4.2.1. V tab. 4.2.2 a 4.2.3 jsou uvedeny označovací historie pro články X - 260 respektive X - 264, obr. 4.2.1. Na str. 4.2.2 a 4.2.3 jsou časové průběhy kontaktních tlaků palivo - pokrytí. Časové změny dalších pečičních veličin (teploty v centru paliva atd.) nejsou v [2] uvedeny, což je ižna důsledkem experimentu, který byl zaměřen na deformace pokrytí. Predikce kontaktního tlaku programem PIN je srovnatelná s ostatními programy. Porovnání predikce teplot v centru paliva s experimentem (teplota stanovena metalografickým rozborom) je provedeno v tab. 4.2.4 a porovnání predikce uvolnění štěpných plynů z paliva jednotlivými programy (tato veličina nebyla zjišťována při experimentálním rozboru) je uvedeno v tab. 4.2.5.

Oba články byly přepočítány opět s oběma modely uvolňování štěpných produktů z paliva (PIN-1 a PIN-3). Z metalografického rozboru byly určeny teploty v centru paliva pro články X - 260, 2015,5°C a pro články X - 264 2165,5°C. Oběma výpočty PIN-1 a PIN-3 byly snadno určeny teploty (nekonečně velký objem plynového plenu modelující udržování tlaku na konstantní hodnotě během experimentu) 2001,0°C respektive 2108,0°C. Predikce teplot je v dobrém souladu s experimentem. Množství plyných produktů štěpení uvolněných z paliva nebylo experimentálně zjišťováno. Možno je porovnat pouze výsledky výpočtu PIN-1 (20,9%) respektive PIN-3 (6,3%) s výsledky ostatních programů, které se pohybovaly v rozmezí 8,7 - 11,8% (střední hodnota 11,8%). Z tohoto hlediska jsou výsledky programu PIN s oběma modely uvolňování plyných produktů štěpení z paliva srovnatelné s ostatními programy.

Tabulka 4.2.1.: Varianta B

Vstupní data pro článek X - 260

Vnější průměr paliva	21,3 mm	(0,7303 in)
Vnitřní průměr paliva	0,0 mm	(0,0000 in)
Výška palivové tablety	24,000 mm	(0,945 in)
Aktivní výška sloupce paliva	480,06 mm	(18,9 in)
Hustota paliva	97,6 % TH	
Obohacení paliva	1,35 % U-235	
Stochiometrie O : U	2,000	
Velikost zrn paliva	8 μm	
Průměr čočkových vybrání	0,508 mm	(0,020 in)
Hloubka čočkových vybrání	0,635 mm	(0,025 in)
Drsnost povrchu paliva	1,016 μm	(0,00004 in)
Drsnost povrchu pokrytí	0,508 μm	(0,00002 in)
Vnitřní průměr pokrytí	18,66 mm	(0,7346 in)
Tloušťka pokrytí	0,546 mm	(0,0215 in)
Složení plynového plynu	He	
Objem plynového plenu	1638706,4 mm ³	(100 in ³)
Teplota plynového plenu	20 °C	(68 °F)
Normální tlak plynového plynu	0,0980665 MPa	(1 at)

Vstupní data pro článek X - 264 (rozdílly oproti X - 260)

Výška palivové tablety	23,876 mm	(0,94 in)
Aktivní výška sloupce paliva	382,016 mm	(15,04 in)
Hustota paliva	96,3 % TH	
Obohacení paliva	1,50 % U-235	
Stochiometrie H : O	2,000	

Tabulka 4.2.2.: Varianta B

Ozařovací historie pro článěk X - 260

Čas	lineární výkon		tok rychlých neutro- nů ($E > 1 \text{ MeV}$)	tlak chlaďiva		teplota na vnějš- ní povrchu pokrytí	
	h	kW/m (kW/ft)		MPa (psi)	$^{\circ}\text{C}$ ($^{\circ}\text{F}$)		
0,0	0,0	(0,0)	0,0	0,1	(14,7)	20	(68)
0,7	16,4	(5,0)	$0,2 \cdot 10^{17}$	8,0	(1160,0)	228	(442)
1,4	32,8	(10,0)	$0,5 \cdot 10^{17}$	8,0	(1160,0)	235	(455)
2,5	59,7	(18,2)	$0,9 \cdot 10^{17}$	8,0	(1160,0)	247	(477)
3,5	0,0	(0,0)	0,0	0,1	(14,7)	20	(68)
5,5	65,9	(20,1)	$1,0 \cdot 10^{17}$	8,0	(1160,0)	250	(482)
1427,0	65,9	(20,1)	$1,0 \cdot 10^{17}$	8,0	(1160,0)	250	(482)
1430,0	0,0	(0,0)	0,0	0,1	(14,7)	20	(68)
1433,0	65,9	(20,1)	$1,0 \cdot 10^{17}$	8,0	(1160,0)	250	(482)
1436,0	0,0	(0,0)	0,0	0,1	(14,7)	20	(68)

Tabulka 4.2.3.: Varianta B

Ozařovací historie pro článěk X - 264

Čas	lineární výkon		tok rychlých neutro- nů ($E > 1 \text{ MeV}$)	tlak chlaďiva		teplota na vnějš- ní povrchu pokrytí	
	h	kW/m (kW/ft)		MPa (psi)	$^{\circ}\text{C}$ ($^{\circ}\text{F}$)		
0,0	0,0	(0,0)	0,0	0,1	(14,7)	20	(68)
0,8	16,4	(5,0)	$0,2 \cdot 10^{17}$	8,0	(1160,0)	228	(442)
1,5	32,8	(10,0)	$0,5 \cdot 10^{17}$	8,0	(1160,0)	235	(455)
2,6	59,7	(18,2)	$0,9 \cdot 10^{17}$	8,0	(1160,0)	247	(477)
3,0	68,9	(21,0)	$1,0 \cdot 10^{17}$	8,0	(1160,0)	252	(485)
5,3	0,0	(0,0)	0,0	0,1	(14,7)	20	(68)

Tabulka 4.2.4.: Varianta B

Porovnání predikce teplot v centru paliva

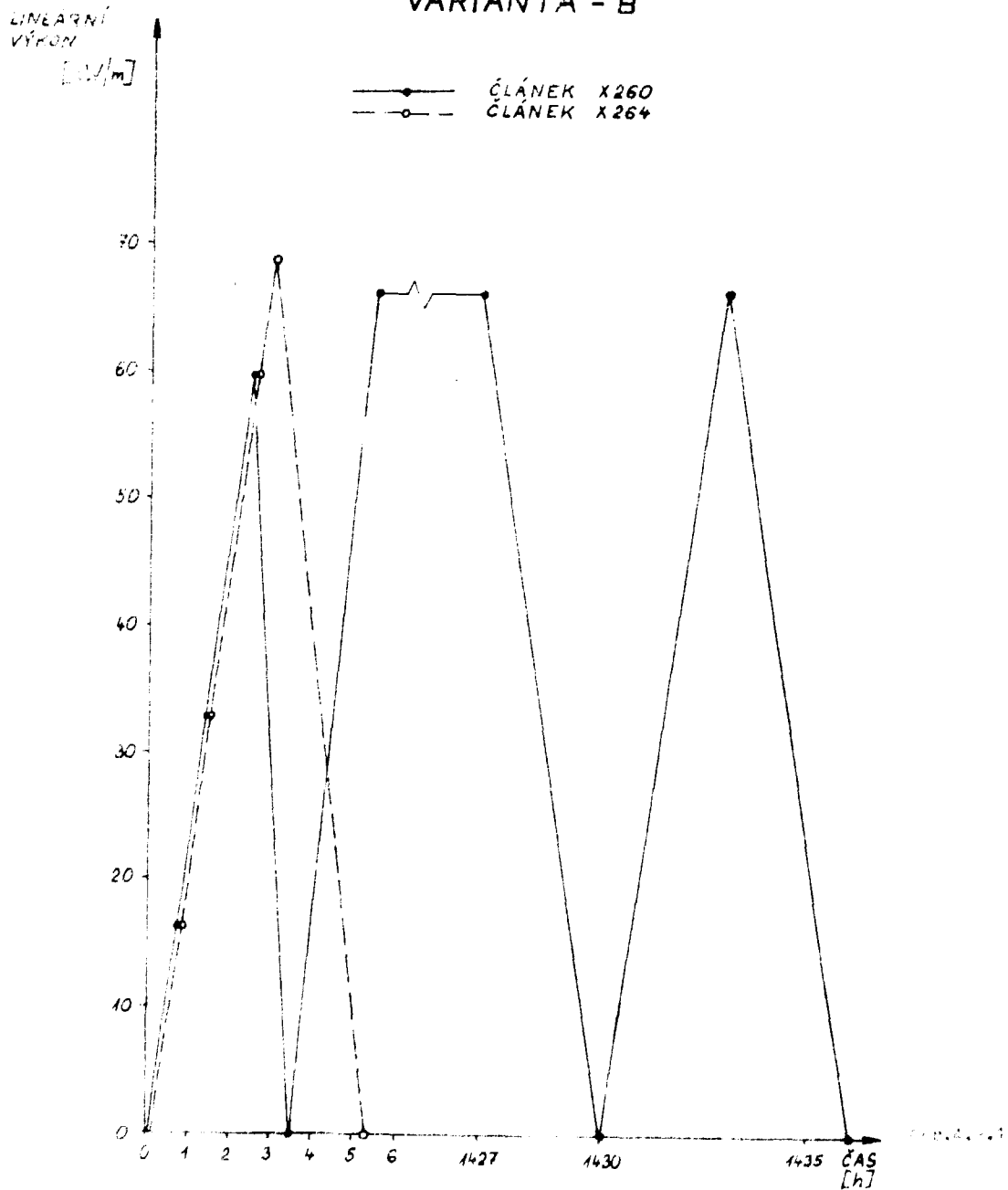
Program	Teplota v centru paliva ($^{\circ}\text{C}$)			
	X 260		X 264	
Článěk	65,9		68,9	
Lineární výkon kW/m	65,9		68,9	
EXPERIMENT	2015,5	rozdíl oproti experimentu	2165,5	rozdíl oproti experimentu
BEHAVE - 4	2001,7	(-13,8)	2015,0	(-13,5)
COMETHE - III H	1936,1	(-79,4)	2043,0	(-12,6)
CYGRO - 3	2032,2	(-16,7)	2215,5	(+15,0)
FMODEL	1845,0	(-170,5)	1903,9	(-261,6)
GAPCON - THERMAL - 1	2038,9	(+23,4)	2165,5	(0,0)
LIFE - THERMAL - 1	2067,2	(+51,7)	2180,5	(+13,0)
PIN 1	2001,0	(-14,5)	2108,0	(-57,5)
PIN 3	2001,0	(-14,5)	2108,0	(-57,5)

Tabulka 4.3.5.: Varianta B

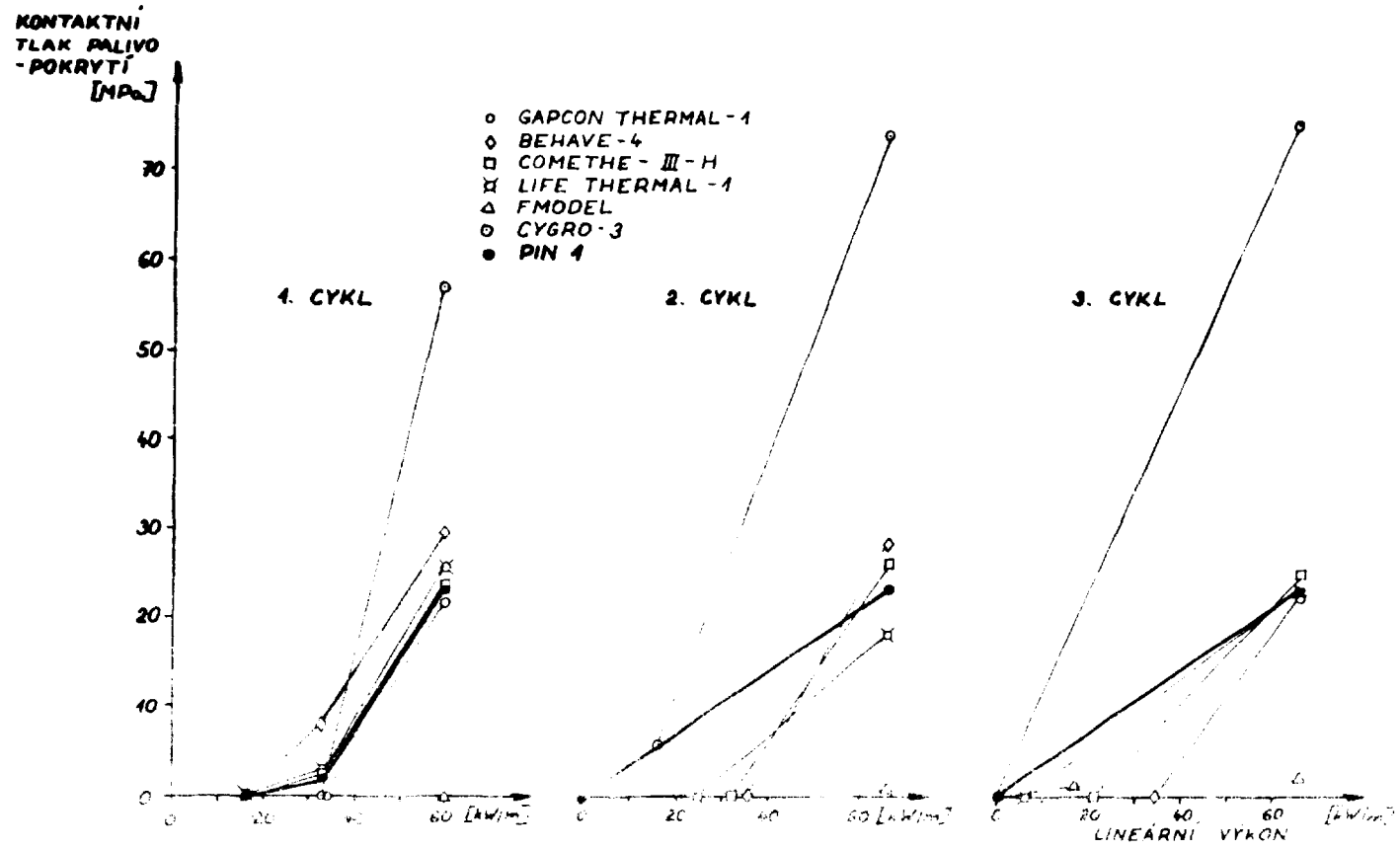
porovnání grafické uvolnění plynu z paliva

Program	Relativní množství uvolněného plynu %
MEMBRAN - 4	12,3
MEMBRAN - 1 a 2	5,7
MEMBRAN - 3	-
PERME	7,8
PERMEAN - THERMAL - 1	15,6
PERMEAN - THERMAL - 2	17,9
PERMEAN - 1	20,9
PERMEAN - 3	6,3

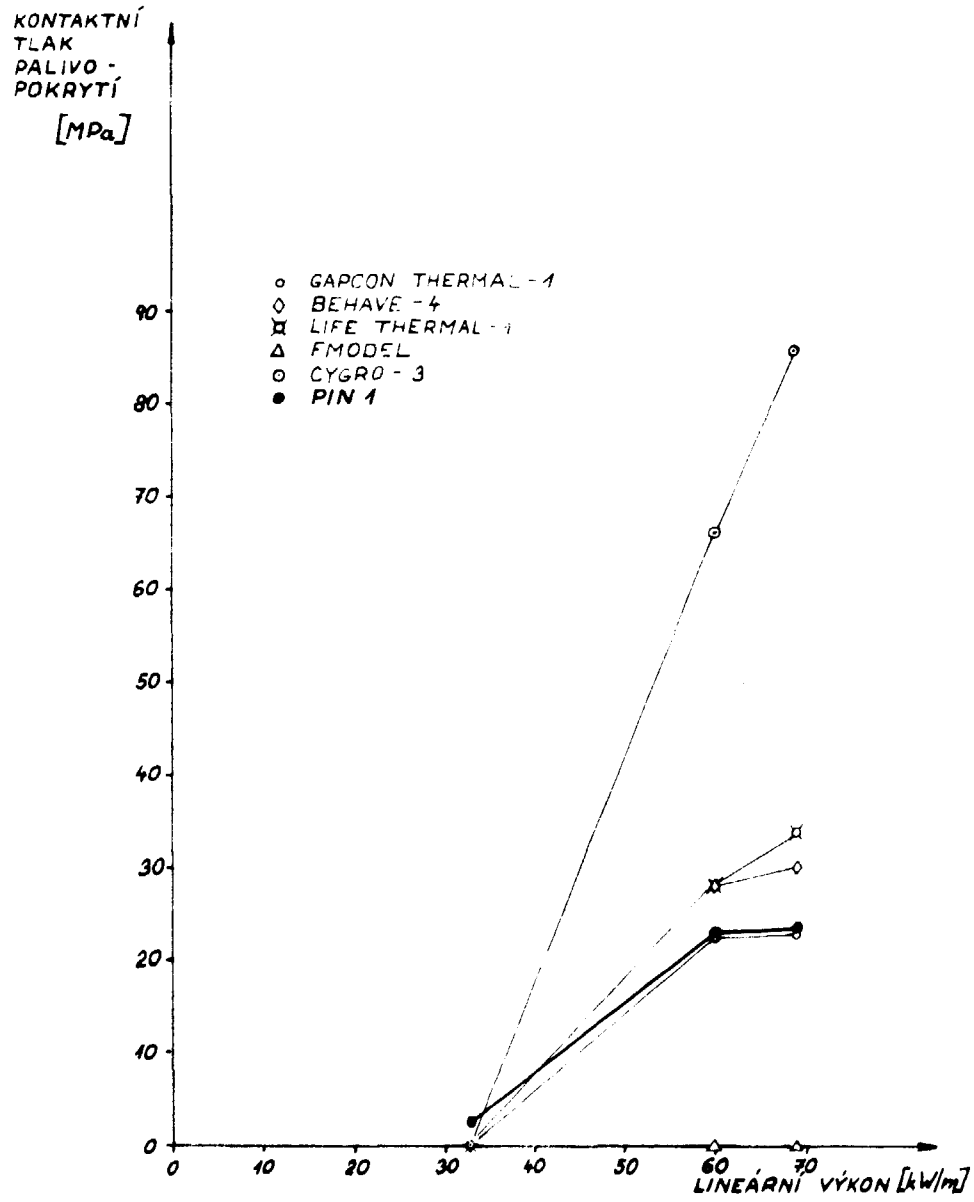
VARIANTA - B



VARIANTA - B ČLÁNEK X-260



VARIANTA-B ČLÁNEK X-264



Obr. 4.2.3.

4.3. Varianta C

Jako varianta C je označen přepočítaný článok z experimentu ELP provedeném GEA na experimentálním těžkovodním reaktoru EL 3 v Saclay /2/.

Popis parametrů palivového článku je uveden v tab. 4.3.1. V tab. 4.3.2. je axiální rozložení výkonu v palivovém článku a jeho ozařovací historie obr. 4.3.1. Časové průběhy uvolňování plyných produktů štěpení z paliva, a teplot v centru paliva, součinitele prostupu tepla a mezery palivo-pokrytí ve výšce 0,5 m jsou na obr. 4.3.2. + 4.3.5. Porovnání výsledků výpočtů s experimenty je provedeno v tab. 4.3.3. + 4.3.5.

Článek byl přepočten opět s oběma modely uvolňování štěpných produktů z paliva (PIN-1 a PIN-3). Predikce podstatně vyšších teplot v centru paliva ve srovnání s experimentem u výpočtů PIN-1 a PIN-3 je způsobena velkou mezerou palivo-pokrytí při "tepelném" kontaktu (3,2 x celková střední drsnost paliva-pokrytí). Tato skutečnost se však neprojevila v /1/ ani u zbývajících článků v této zprávě, jelikož byly počítány vesměs články u kterých buď nedošlo ke kontaktu, nebo došlo přímo ke kontaktu s tlakem palivo-pokrytí nebo byla celková střední drsnost malá. Neúměrná velikost mezery při "tepelném" kontaktu je též patrna z obr. 4.3.5. v porovnání s programy BEHAVE-4 a GAPCON-THERMAL-1 s obdobnou koncepcí "tepelného" kontaktu. Proto byl proveden doplňující výpočet (PIN-5) s korigovanou velikostí drsnosti, tak aby mezera palivo-pokrytí byla při "tepelném" kontaktu shodná s údaji programů BEHAVE-4 a GAPCON-THERMAL-1. Z metalografického rozboru byla stanovena maximální teplota v centru paliva ve výšce 0,5 m 2198,9°C. Programem PIN byly určeny následující teploty. Výpočtem PIN-1 2871 °C, PIN-3 2628,5°C a PIN-5 2319,0 °C. Predikce vysokých teplot a výpočtů PIN-1 a PIN-3 je z větší části způsobena nadměrnou velikostí mezery při "tepelném" kontaktu palivo-pokrytí. Výpočet PIN-5 dává v celku hodnoty srovnatelné s ostatními programy. Rozdíly mohou být též částečně vysokou nestabilitou paliva (densifikace z 94,25 na 98,75 % TH). Tím jsou pak zvýrazněny rozdíly ve způsobu výpočtu restruktury paliva (tvorba centrálního otvoru) a akomodace napučání do porozity paliva. U modelu obou jevů rozhoduje, která z hustot paliva (před densifikací či po densifikací) je vzata jako referenční. Již zda je v programu zahrnován nejspolehlivější model chování paliva. Předpokládá se, že se z paliva uvolnilo 26,4% plyných produktů štěpení. Vypočtem PIN-1 byla stanovena hodnota 73,6%, PIN-3 44,6% a PIN-5 25,8%. Celkově lze konstatovat, že predikce uvolněných plynů odpovídá predikci teplot a u výpočtu PIN-5 je ve velmi dobré shodě s experimentem.

Tabulka 4.3.1.: Varianta C

Vstupní data pro článek

Hustota paliva	94,25 % TH	
Densifikace paliva	4,5 % TH	
Velikost zrn paliva	4 μm	
Výška palivové tablety	12,14 mm	(0,478 in)
Aktivní výška sloupce paliva	1008,38 mm	(35,7 in)
Obohacení paliva	4,5 % U-235	
Hloubka čočkových vybrání	0,2997 mm	(0,0118 in)
Průměr čočkových vybrání	5,4102 mm	(0,213 in)
Vnější průměr paliva	7,4168 mm	(0,292 in)
Vnitřní průměr paliva	0,0 mm	(0,0 in)
Vnitřní průměr pokrytí	7,569 mm	(0,298 in)
Tloušťka pokrytí	0,5461 mm	(0,0215 in)
Objem čočkových vybrání	1,32 %	
Teplota pokrytí na vnějším poloměru		
plný výkon	117,777 °C	(244 °F)
nulový výkon	40,0 °C	(104 °F)
Objem plynového plenu	3359 mm ³	(0,205 in ³)
Normální objem He v plnicím plynu	16796,7 mm ³	(1,025 in ³)

Normální objem N ₂ v plnicím plynu	1753,4 mm ³	(0,107 in ³)
Normální objem H ₂ O v plnicím plynu	540,77 mm ³	(0,033 in ³)
Normální tlak plnicího plynu	0,3309 MPa	(48 psia)
Tlak chladiwa	0,3447 MPa	(50 psia)
Relativní výkon		
ve středu paliva	0,908	
na povrchu paliva	1,092	
Drsnost povrchu paliva	3,31 μm	(0,00015 in)
Drsnost povrchu pokrytí	1,016 μm	(0,00004 in)
Tok rychlých neutronů	0,1 · 10 ¹⁷	n/m ² s

Tabulka 4.3.2.: Varianta C

Axiální rozložení výkonu

Výška	m	0	0,127	0,254	0,381	0,508	0,635	0,762	0,889	0,998
	in	0	5	10	15	20	25	30	35	39,3
Relativní výkon		0,8	0,93	1,05	1,10	1,12	1,10	1,02	0,9	0,8

Ozařovací historie

Čas	h	810	1032	1320	1392	1872	2352	3000	3264
Maximální lineární výkon	kw/m	56,4	58,1	61,0	38,7	59,0	55,1	50,8	47,9
	kw/ft	17,2	17,7	18,6	11,8	18,0	16,8	15,5	14,6

Tabulka 4.3.3.: Varianta C

Porovnání predikce teplot v centru paliva ve výšce 0,5 m.

Program	Čas h	Lineární výkon kW/m	Teplota v centru paliva		Rozdíl °C
			Predikce programem	Experiment	
BEHAVE - 4	836	56,4	2843,9	2198,9	+645,0
COMETHE-III H	85	56,4	2137,8	2198,9	-61,1
CYGR - 3	10	56,4	1927,8	2198,9	-271,1
FMODEL	10	56,4	2122,8	2198,9	-76,1
GAPCON-THERMAL - 1	10	56,4	2390,5	2198,9	+191,6
LIFE-THERMAL-1	10	56,4	2035,0	2198,9	-163,9
PIN - 1	1320	60,5	2871,0	2198,9	+672,1
PIN - 3	1320	60,5	2628,5	2198,9	+429,6
PIN - 5	1320	60,5	2319,0	2198,9	+120,1

Tabulka 4.3.4.: Varianta C

Porovnání predikce uvolnění plynu z paliva

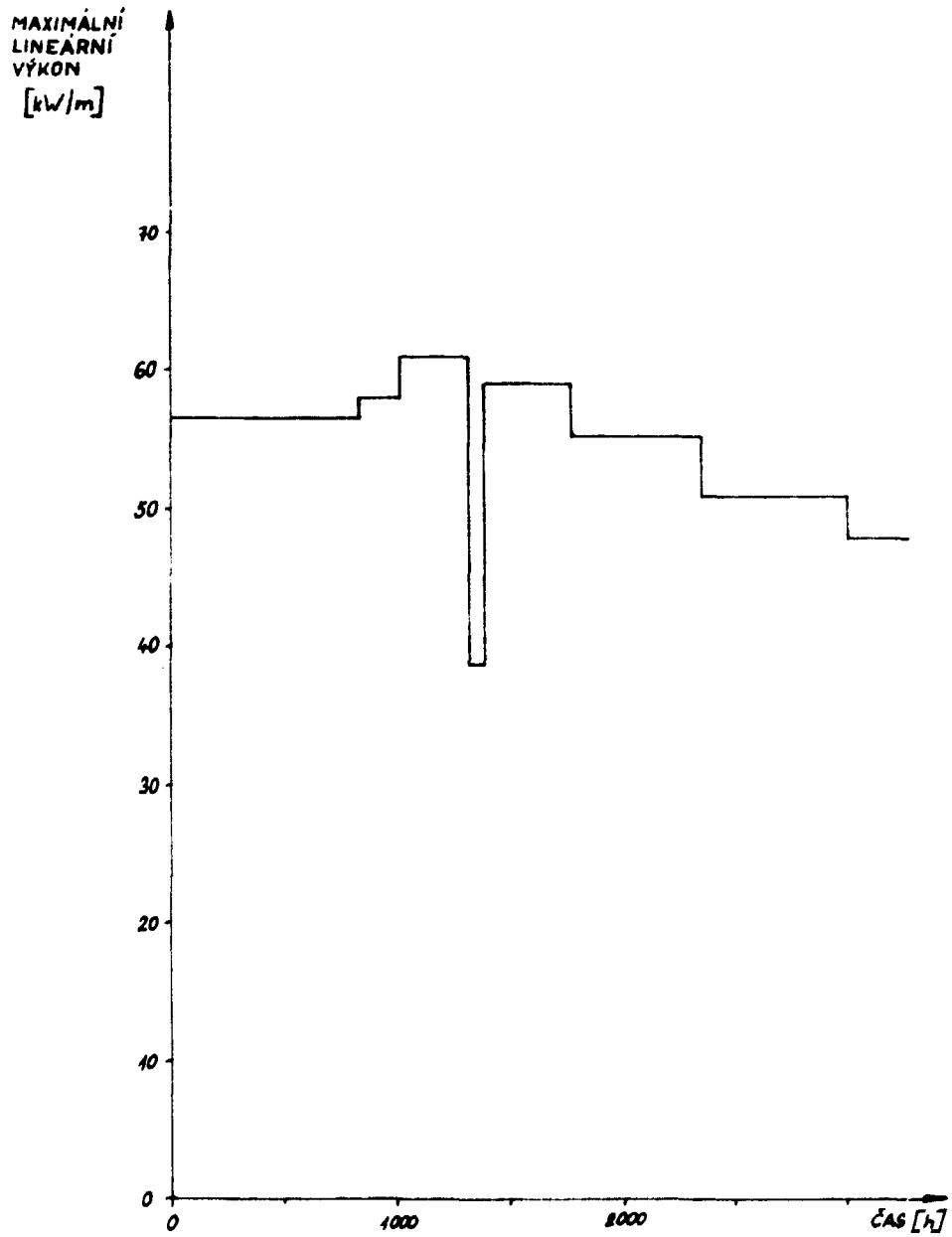
	Relativní množství uvolněného plynu %
EXPERIMENT	26,4
BEHAVE - 4	17,6
COMETHE - III H	6,3
CYGRO - 3	
FMODEL	7,6
GAPCON - THERMAL - 1	27,7
LIFE - THERMAL - 1	3,1
PIN - 1	73,6
PIN - 3	44,6
PIN - 5	25,8

Tabulka 4.3.5.: Varianta C

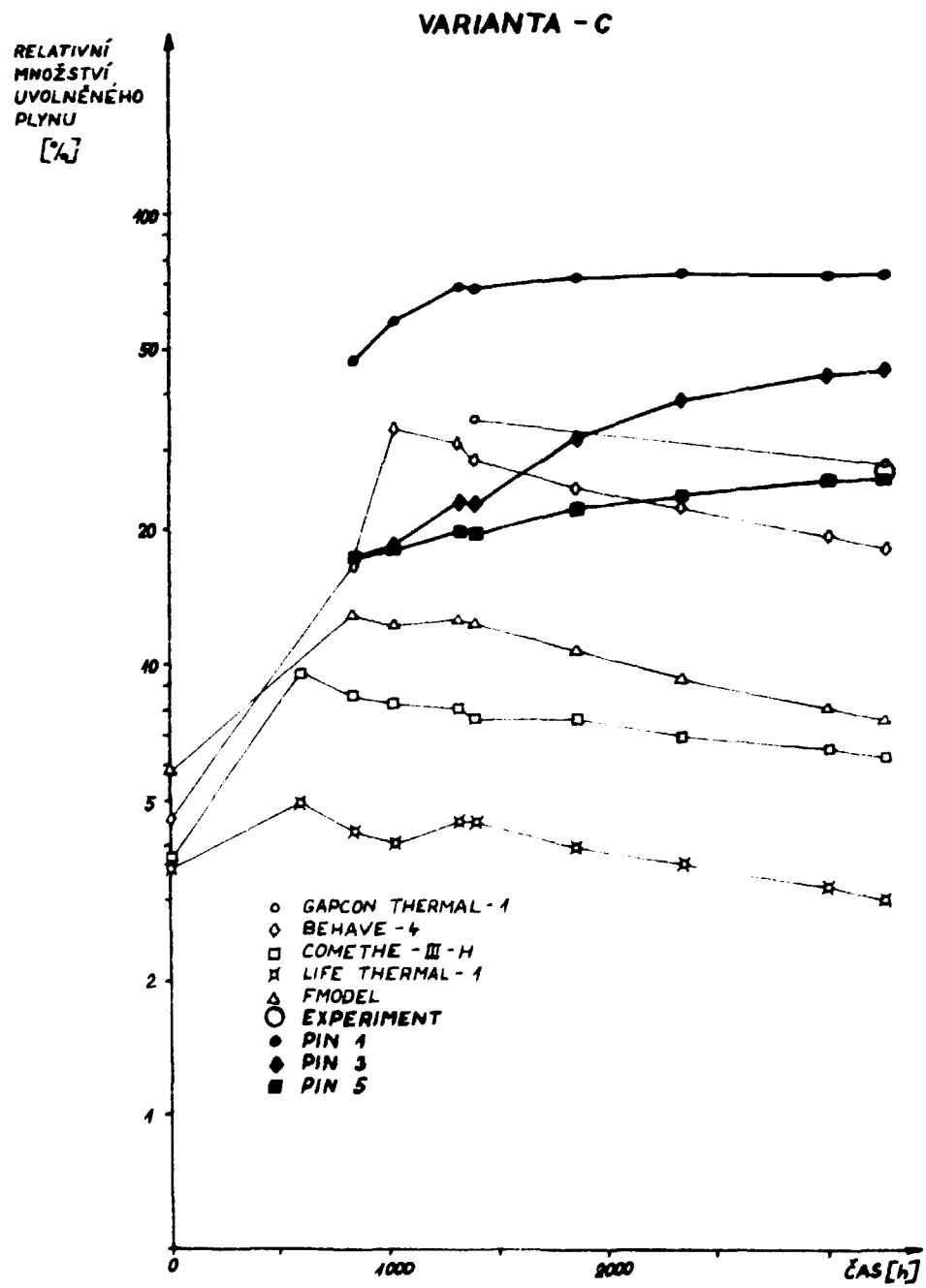
Porovnání predikce radiální mezera palivo pokrytí [10^{-5} m] a poloměry centrálního otvoru [10^{-3} m] na konci ozařování ve studeném stavu

Axiální pozice	Mezera			Otvor		
	0,7 m	0,5 m	0,3 m	0,7 m	0,5 m	0,3 m
EXPERIMENT	3,56	3,56	4,44	0,09	0,30	0,21
BEHAVE-4	2,92	2,92	2,92	0,74	0,81	0,81
COMETHE-III H	2,54	2,67	2,67	0,29	0,25	0,30
CYGRO - 3	1,65	1,02	-	-	-	-
FMODEL	0,0	0,0	0,0	0,74	0,76	0,74
GAPCON-THERMAL-1	2,79	2,92	2,79	0,11	0,12	0,11
LIFE-THERMAL-1	0,0	0,0	0,0	-	-	-
PIN - 1	12,15	12,39	12,31	0,07	0,07	0,07
PIN - 3	11,45	11,81	11,27	0,07	0,07	0,07
PIN - 5	7,79	7,91	7,82	0,05	0,05	0,05

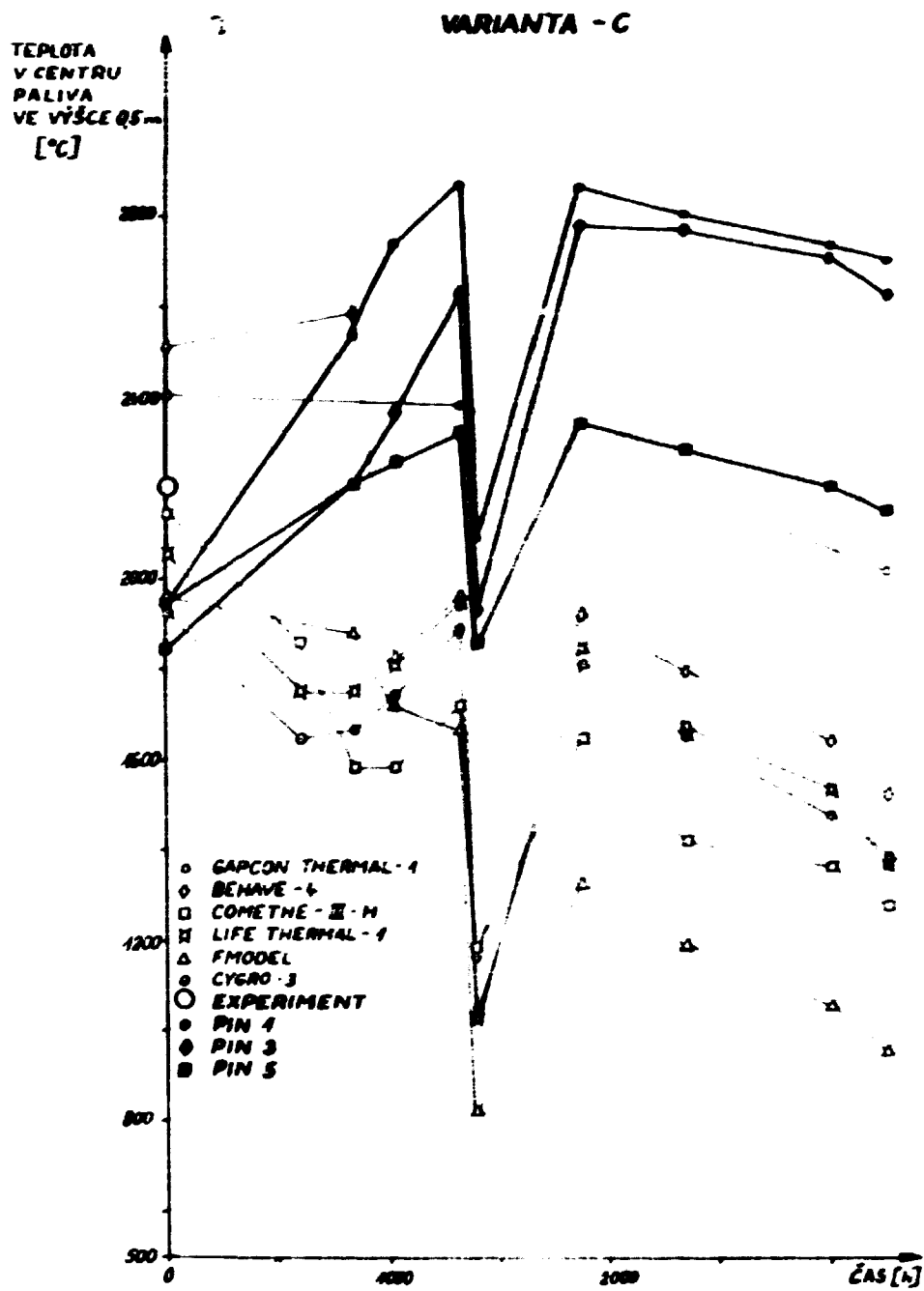
VARIANTA - C



Obr. 4.3.1.



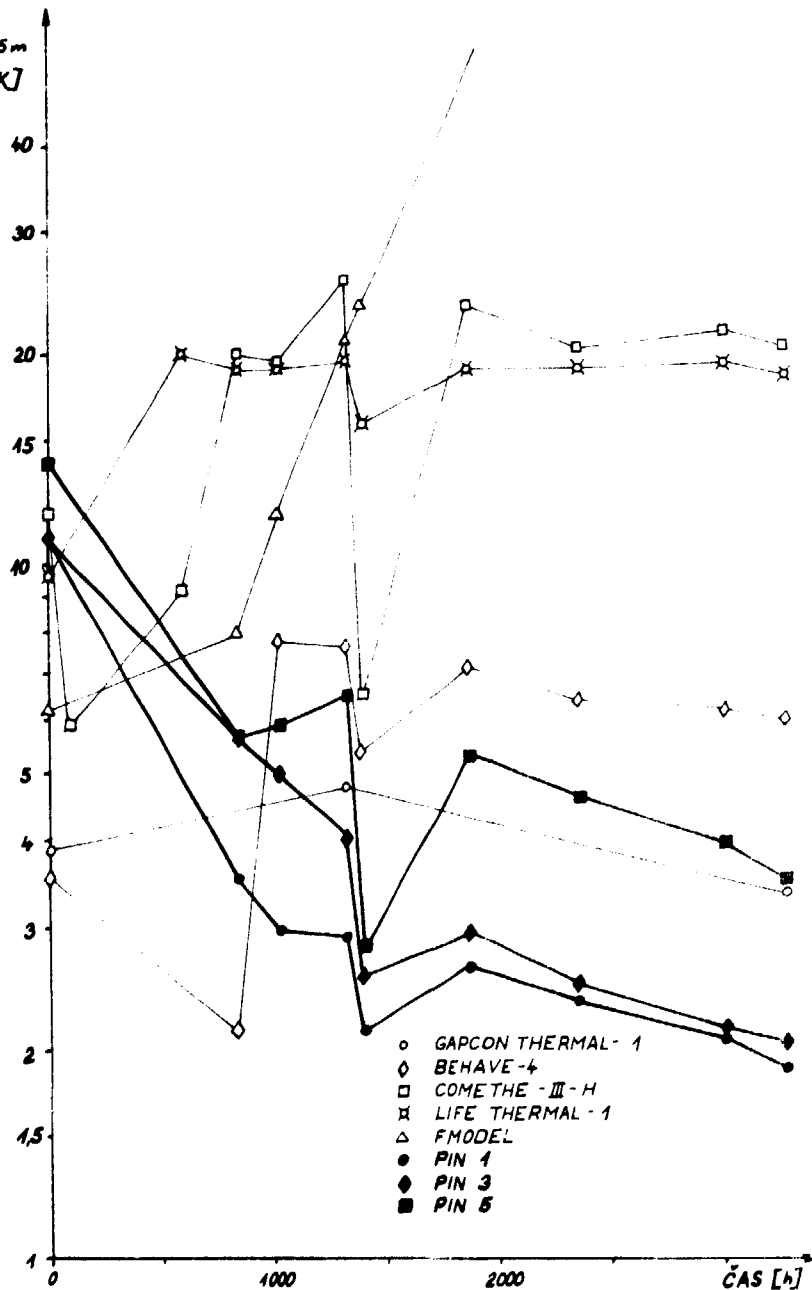
Obr. 4.3.2.



obr. 4.3.3.

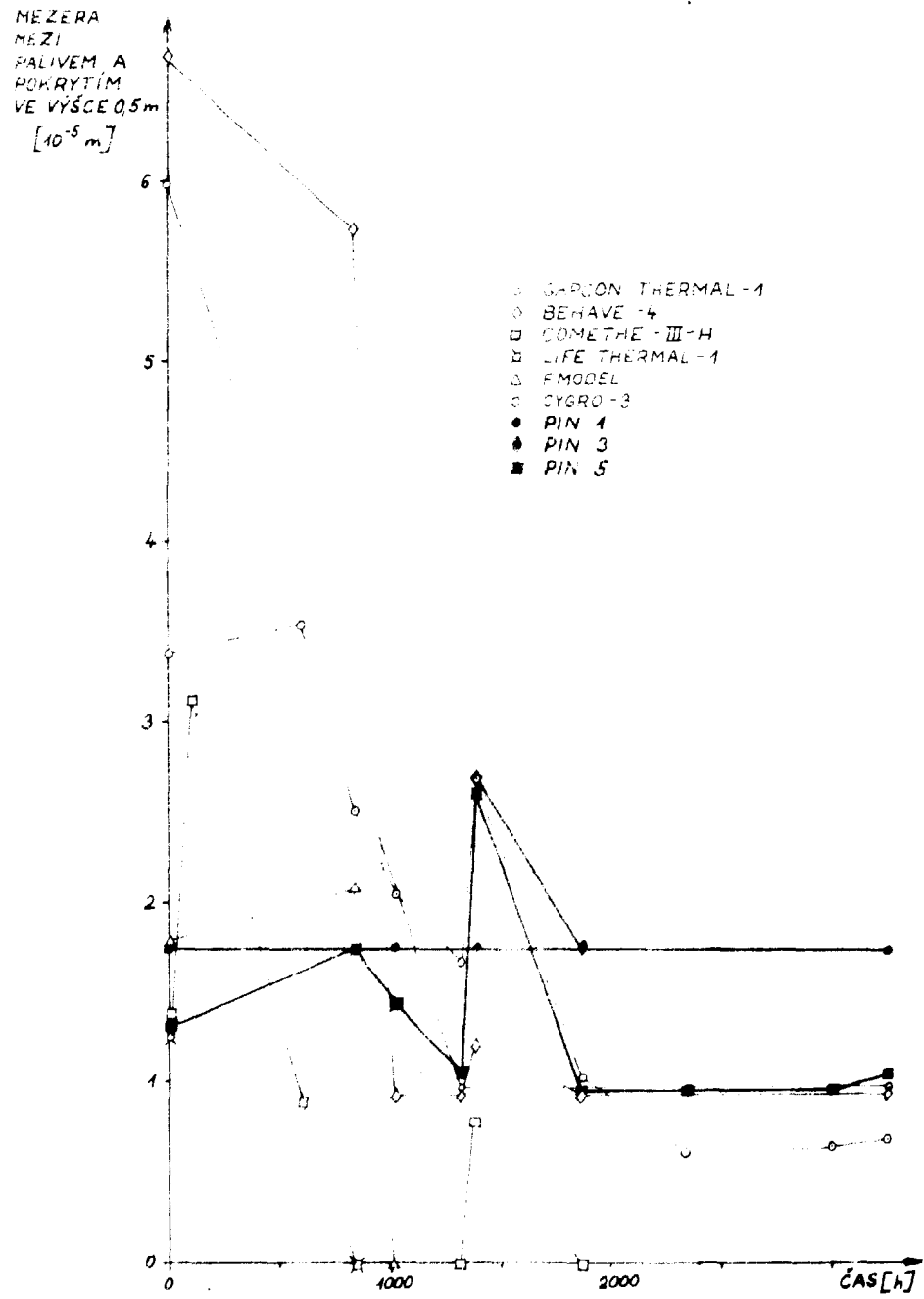
VARIANTA - C

SOUČINITEL
PROSTUPU
TEPLA
VE VÝŠCE 95m
[kW/m²·K]



Obr. 4.3.4.

VARIANTA - C



4.4. Varianta D

Variantou D je označen přepočítaný palivového článku označeného v tlakovodním reaktoru konerční elektrárny Maine Yankee firmy Combustion Engineering /2/. Uvedený článek byl pojmuto za vzorek u níž byl proveden hromadný experimentální rozbor. Rozborem bylo zjištěno, že skupina takových identických článků s podobnou ozářovací historií může být rozdělena do dvou podskupin. Článek s malým podílem plivných štěpných produktů uvolněných do mezery (méně než 10%) a články s velkým množstvím štěpných produktů uvolněných do mezery (11 - 16%) /7/. Z tohoto důvodu je třeba nutno posuzovat výsledky této varianty, ve které byl vybrán článek s množstvím uvolněných produktů do mezery 12,7%.

Podrobný popis parametrů palivového článku je uveden v tab. 4.4.1. Ostatní údaje potřebné pro přepočítání chování článku jsou uvedeny v tab. 4.4.2. + 4.4.3. Příkladová časová ozářovací historie článku je na obr. 4.4.1. Časové průběhy teplot v centru paliva, součinitel průniku paliva, velikosti mezery pokrytí a plastické deformace pokrytí ve výškách 0,25 m a 2,5 m a uvolňování produktů štěpení z paliva jsou na obr. 4.4.2. + 4.4.3. Porovnání výpočtových údajů s experimenty je provedeno v tab. 4.4.4. + 4.4.5.

Článek byl přepočten opět s oběma modely uvolňování plynných produktů štěpení z paliva (PIN-1 a PIN-3). V souladu s /1/ (kde je přepočítáván podobný článek reaktoru Maine Yankee) byl proveden navíc výpočet s korigovanou velikostí creepu pokrytí (redukováno na 50% a označeno PIN-11. Tento výpočet potvrdil velkou citlivost výsledků tohoto případu na malé změny jednotlivých parametrů, čímž lze vysvětlit v některých případech značné odchylky od experimentálně zjištěných hodnot u tohoto článku. Lze tím však též vysvětlit výsledky rozboru palivových článků vykazujících velké rozdíly v teplotách a relativním uvolnění plynů, jak bylo konstatováno výše.

Z experimentálního rozboru bylo stanoveno uvolnění štěpných produktů z paliva 12,7%. Výpočty PIN-1 byly stanoveny hodnoty 4,1%, PIN-3 3,1% a PIN-11 8,3%, což je v celkové rovnováze v souladu s experimentem. Teploty v centru paliva ve výškách 0,25 m a 2,5 m 1345,3 °C a 1342,7 °C byly stanoveny metalografickým rozborom. Výpočtem byly určeny následující hodnoty PIN-1: 1181 °C a 1342 °C, PIN-3: 1114 °C a 1266,5 °C a PIN-11: 1314 °C a 1540 °C. Uvažuje se o tom, že nejlepší predikce uvolnění štěpných plynů (PIN-11) odpovídá nejlepší predikce teplot v centru paliva a naopak.

Tabulka 4.4.1.: Varianta D

Vstupní data pro článek

Vnější průměr paliva	2,6393 mm	(0,10395 in)
Vnitřní průměr paliva	0,0 mm	(0,0 in)
Výška palivové tabletky	16,51	(0,650 in)
Aktivní výška sloupce paliva	2372,18 mm	(136,7 in)
Densifikace paliva	93,0 % TH	
Obbohacení paliva	2,01 % U-235	
Velikost zrn paliva	4 μm	
Průměr čočkových vybrání	7,1168 mm	(0,282 in)
Hloubka čočkových vybrání	3,381 mm	(0,133 in)
Objem čočkových vybrání	3441,28 mm ³	(0,21 in ³)
Densifikace paliva při 4000 MWd/t	3,5 % TH	
Drsnost povrchu paliva	2,489 μm	(0,000098 in)
Drsnost povrchu pokrytí	0,254 μm	(0,000010 in)
Složení plnicího plynu	88 % He/12 % N	
Vnitřní průměr pokrytí	9,8552 mm	(0,3880 in)
Tloušťka pokrytí	0,6604 mm	(0,026 in)
Normální tlak plnicího plynu	0,1034 MPa	(15 psia)
Objem plynového plna	34089,093 mm ³	(2,08 in ³)

Teplota chladiwa
 Součinitel přestupu tepla do
 chladiwa
 Úroveň chladiwa

282,2 °C

(540 °F)

$3,2 \cdot 10^4 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

1,016 x maximální lineární výkon v kW/m °C

(0 x maximální lineární výkon v kW/ft °F)

Tabulka 4.4.2.: Varianta D

Axiální rozložení výkonu

Axiální poloha		Ozarovací perioda								
m	in	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,27	10,75	0,55	0,66	0,73	0,72	0,69	0,69	0,68	0,70	0,72
0,73	30,75	0,73	0,88	0,88	0,91	0,93	0,94	0,95	0,95	0,97
1,30	51,25	0,94	0,98	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
1,74	62,35	1,00	1,00	0,99	0,97	0,95	0,93	0,94	0,90	0,83
2,17	85,44	0,91	0,93	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,59	105,94	0,67	0,74	0,90	0,94	0,95	0,97	0,98	0,98	1,00
3,21	126,45	0,28	0,33	0,38	0,43	0,46	0,47	0,48	0,48	0,51
3,47	135,70	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabulka 4.4.3.: Varianta D

ozarovací charakteristika

Ozarovací perioda	Střední vyhoření	Maximální lineární výkon		Maximální tok rychlých neutronů ($E > 1\text{MeV}$)	Tlak chladiwa	
	MWD/t	kW/m	kW/ft		MPa	psia
1	3550	21,6	6,6	$6,0 \cdot 10^{17}$	13,8	2000
2	4330	18,0	5,5	$5,0 \cdot 10^{17}$	12,4	1800
3	5300	8,5	2,6	$2,4 \cdot 10^{17}$	12,4	1800
4	8100	23,6	7,2	$6,5 \cdot 10^{17}$	12,4	1800
5	2700	25,5	7,8	$7,0 \cdot 10^{17}$	12,4	1800
6	10000	23,6	7,2	$6,5 \cdot 10^{17}$	12,4	1800
7	10500	25,5	7,8	$7,0 \cdot 10^{17}$	12,4	1800
8	10800	27,2	8,3	$7,5 \cdot 10^{17}$	12,4	1800
9	13200	22,6	6,9	$6,2 \cdot 10^{17}$	12,4	1800

Tabulka 4.4.4.: Varianta D

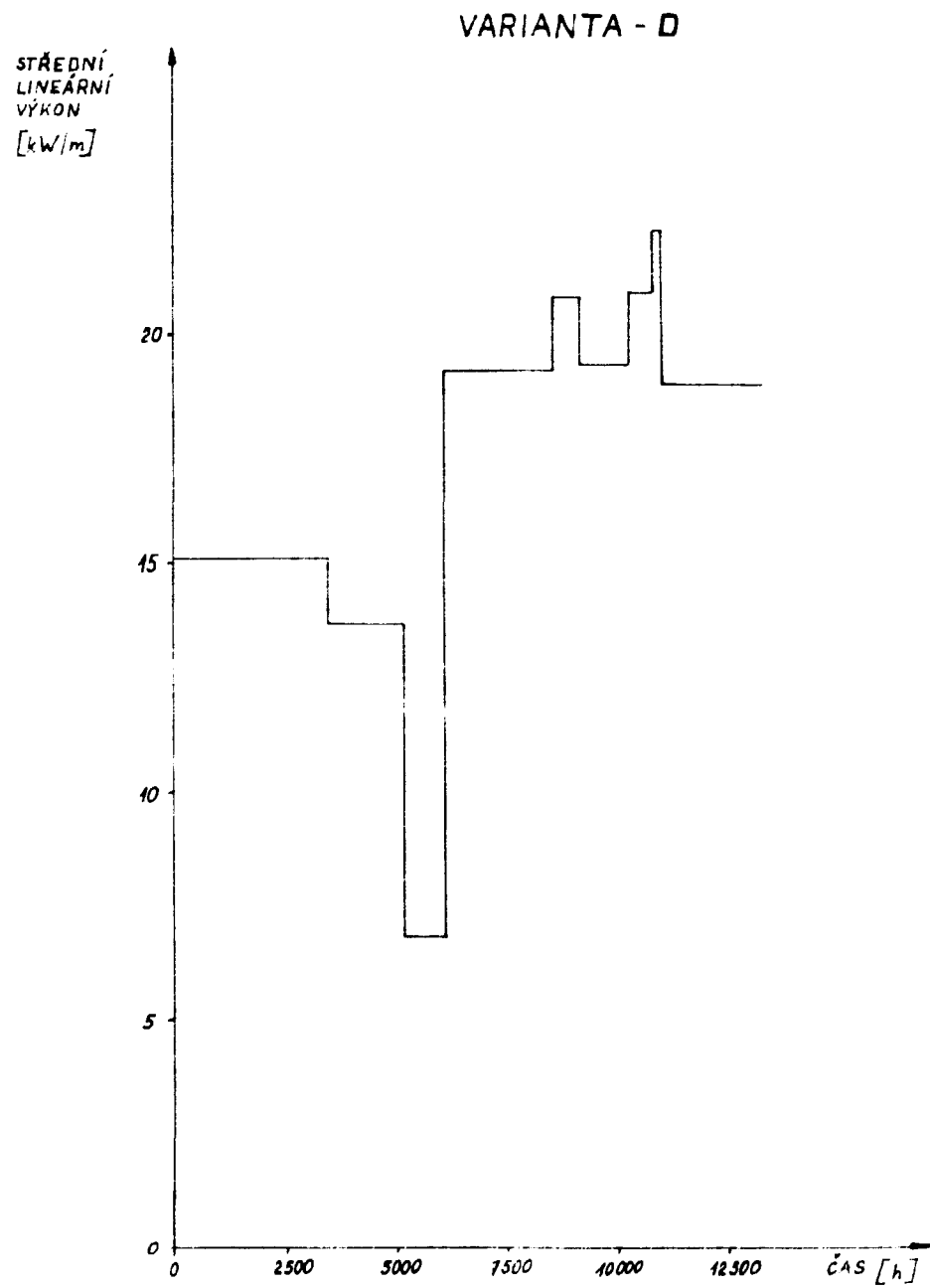
Porovnání predikce teplot v centru paliva

Program	Axiální pozice [m]	Čas [h]	Místní lineární výkon [kW/m]	Teplota v centru paliva [°C]		Rozdíl [°C]
				Predikce programem	Experiment	
BEHAVE - 4	2,4	8096	24,4	1292,8	1633,9	-341,1
	0,25	8096	17,0	1017,2	1531,7	-514,5
COMETHE-III H	2,4	7510	22,0	1700,0	1605,5	+94,5
	0,25	11420	18,3	1586,7	1545,5	+41,2
CYGRO - 3	2,4	6140	22,7	935,5	1613,3	-677,8
	0,25	8660	17,00	887,2	1531,7	-644,5
FMODEL	2,4	10820	26,1	1322,2	1655,0	-332,8
	0,25	10820	18,3	1058,9	1545,5	-486,6
GAPCON-THERMAL-1	2,4	9150	25,4	1606,1	1646,7	-40,6
	0,25	9150	17,0	1498,9	1531,7	-32,8
LIPE-THERMAL-1	2,4	6140	22,7	999,4	1613,3	-613,9
	0,25	6140	16,4	861,7	1525,0	-663,3
PIN - 1	2,4	10650	25,6	1342	1646,7	-304,7
	0,25	10650	18,3	1181	1545,5	-364,5
PIN - 3	2,4	10650	25,6	1286,5	1646,7	-380,2
	0,25	10650	18,3	1114,0	1545,5	-431,5
PIN - 11	2,4	10650	25,6	1540	1646,7	-106,7
	0,25	10650	18,3	1314	1545,5	-231,5

Tabulka 4.4.5.: Varianta D

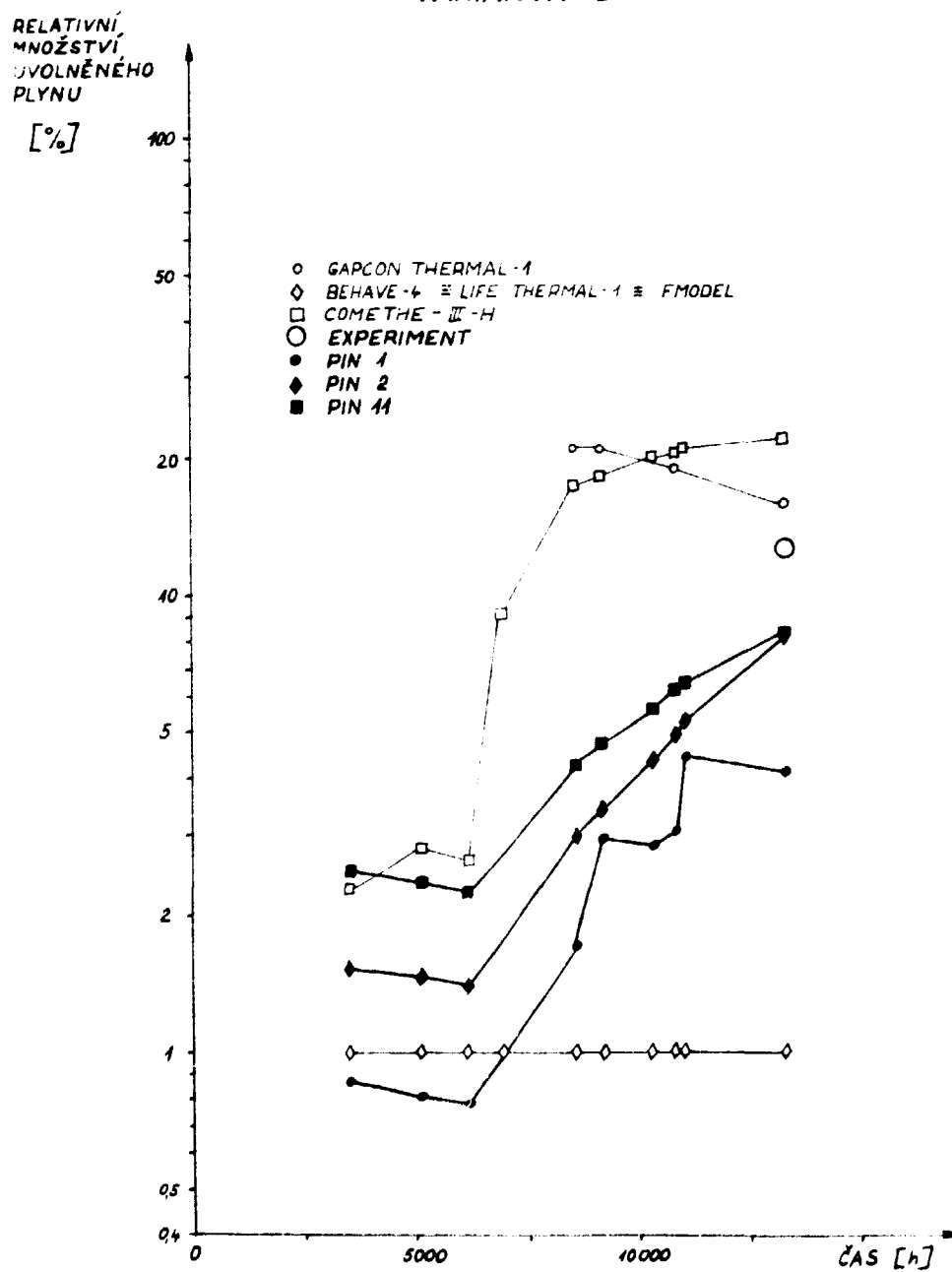
Porovnání predikce radiální mezery palivo pokrytí a tlaku plynu na konci ozařování

Axiální pozice m	Mezera palivo pokrytí 10^{-5} m		Tlak plynu MPa	Relativní množství uvolněného plynu %
	0,25	2,4		
BEHAVE - 4	11,9	6,1	0,117	1,0
COMETHE - III - H	13,7	6,8	0,820	21,3
CYGRO - 3	7,6	4,7	0,214	-
FMODEL	12,9	10,2	0,138	1,0
GAPCON-THERMAL-1	12,9	6,1	0,648	15,5
LIPE-THERMAL-1	7,1	0,5	0,214	1,0
PIN - 1	8,7	6,3	-	4,1
PIN - 3	9,9	8,5	-	3,1
PIN - 11	9,9	8,8	-	8,3
EXPERIMENT	7,6	5,3	0,441	12,7



Obz. 4.4.1.

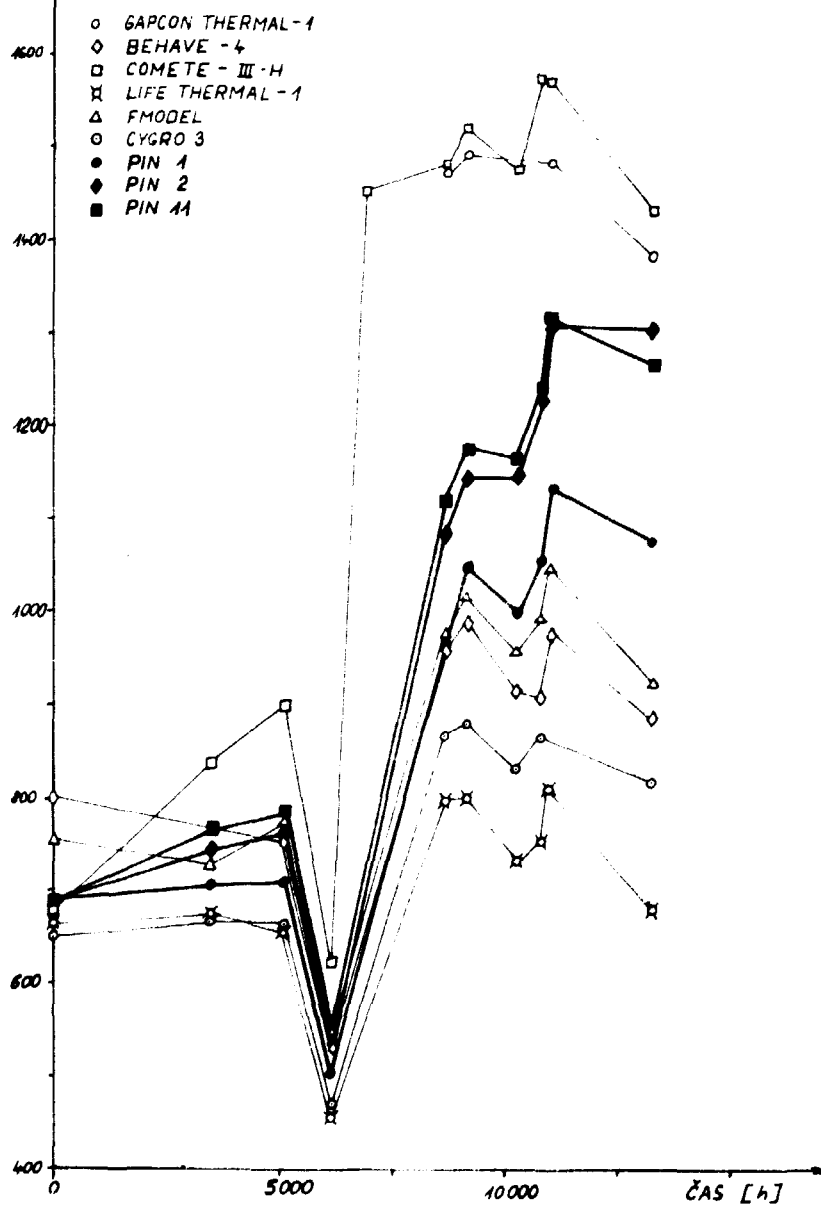
VARIANTA - D



obr. 4.4.2.

VARIANTA - D

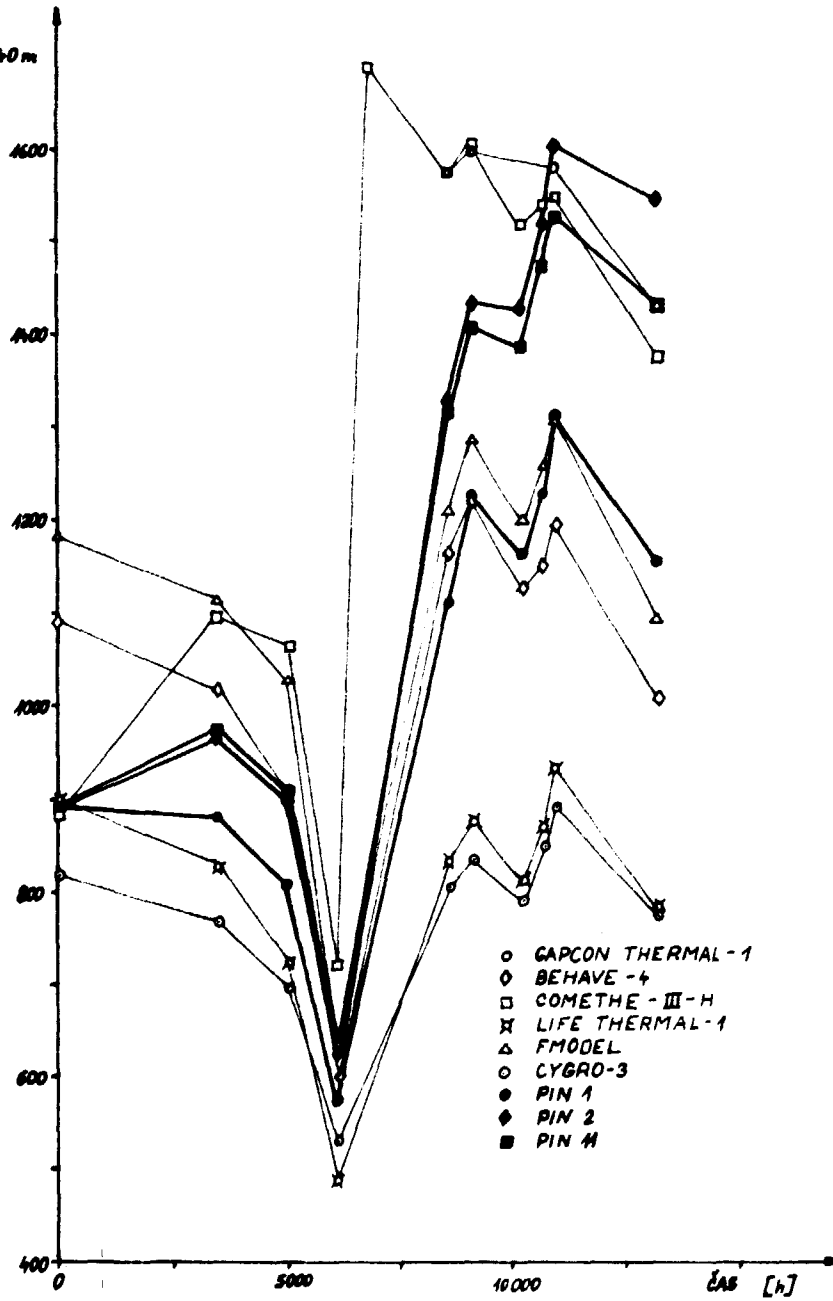
TEPLOTA
V CENTRU
PALIVA
VE VYŠCE 0,25 m
[°C]



Obr. 4.4.3.

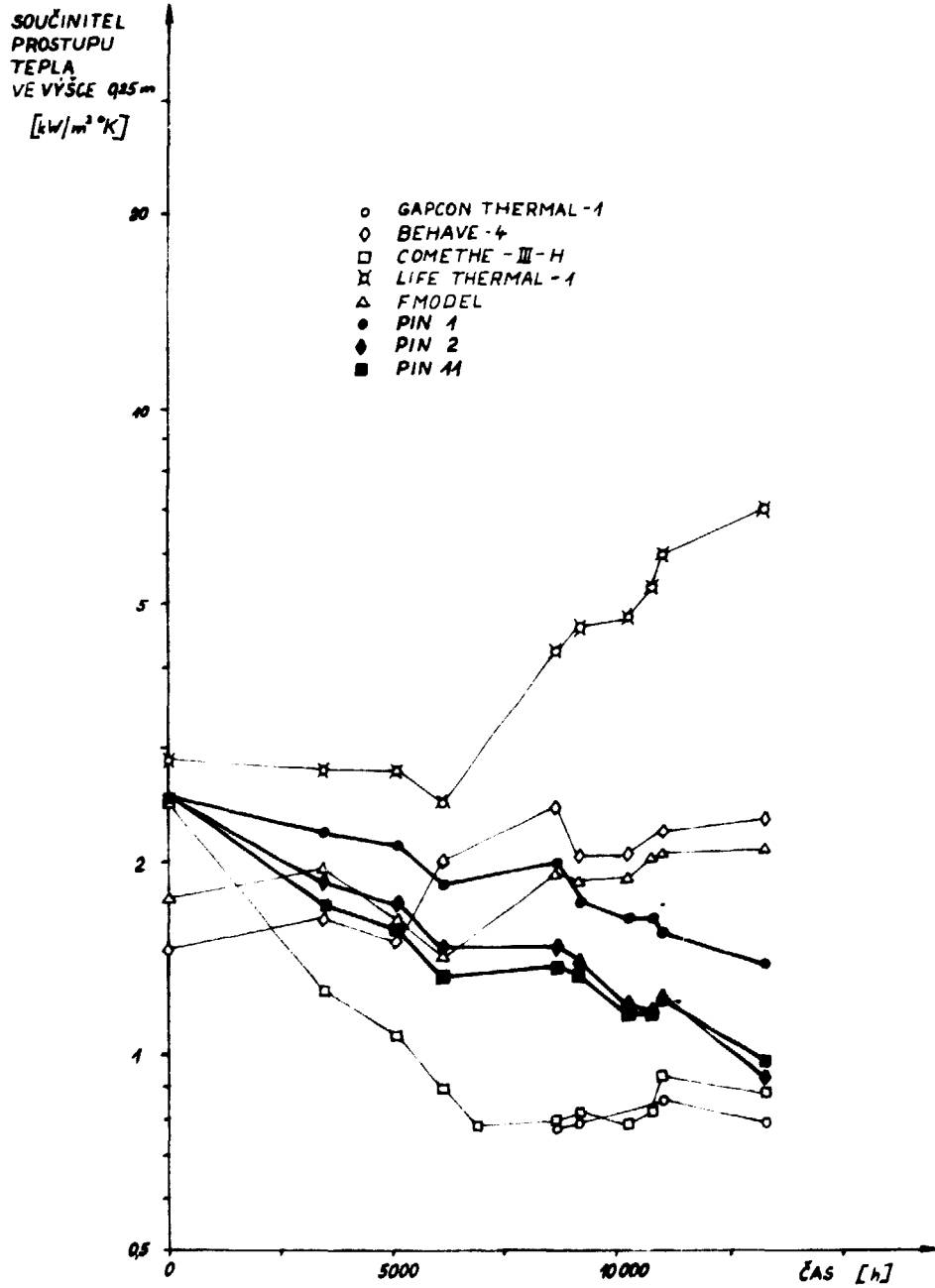
VARIANTA - D

TEPLOTA
V CENTRU
PALIVA
VE VÝŠCE 2,40 m
[°C]



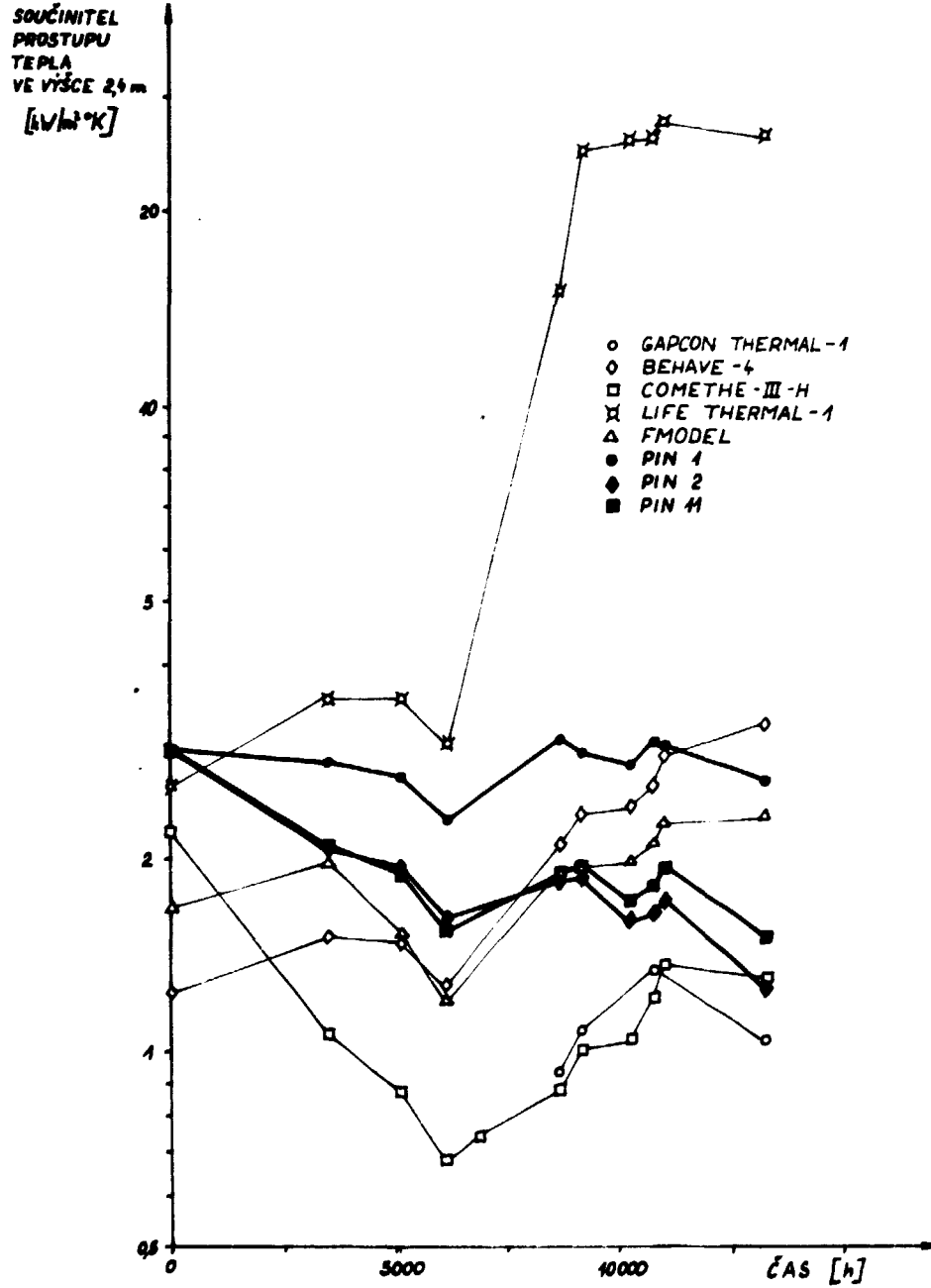
obr. 4.4.4.

VARIANTA - D



Obr. 4.4.5.

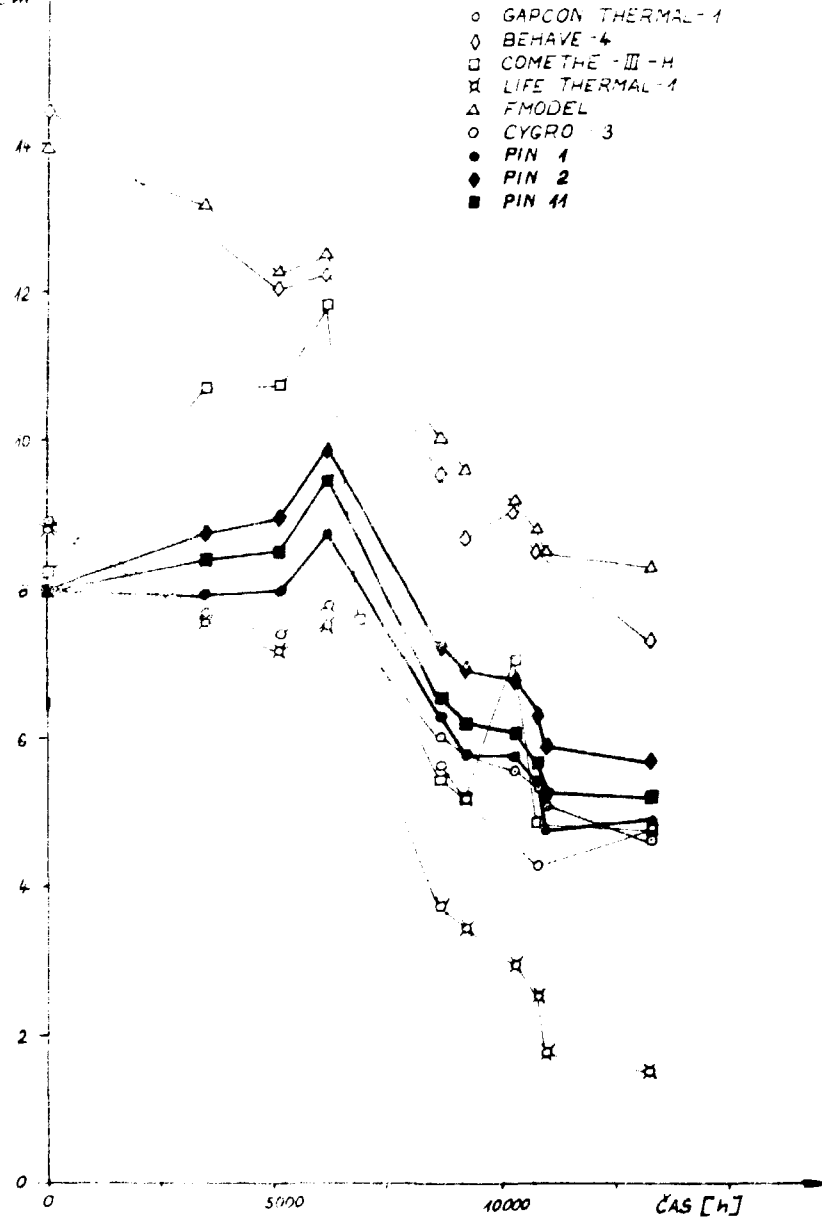
VARIANTA - D



Obr. 4.4.6.

VARIANTA - D

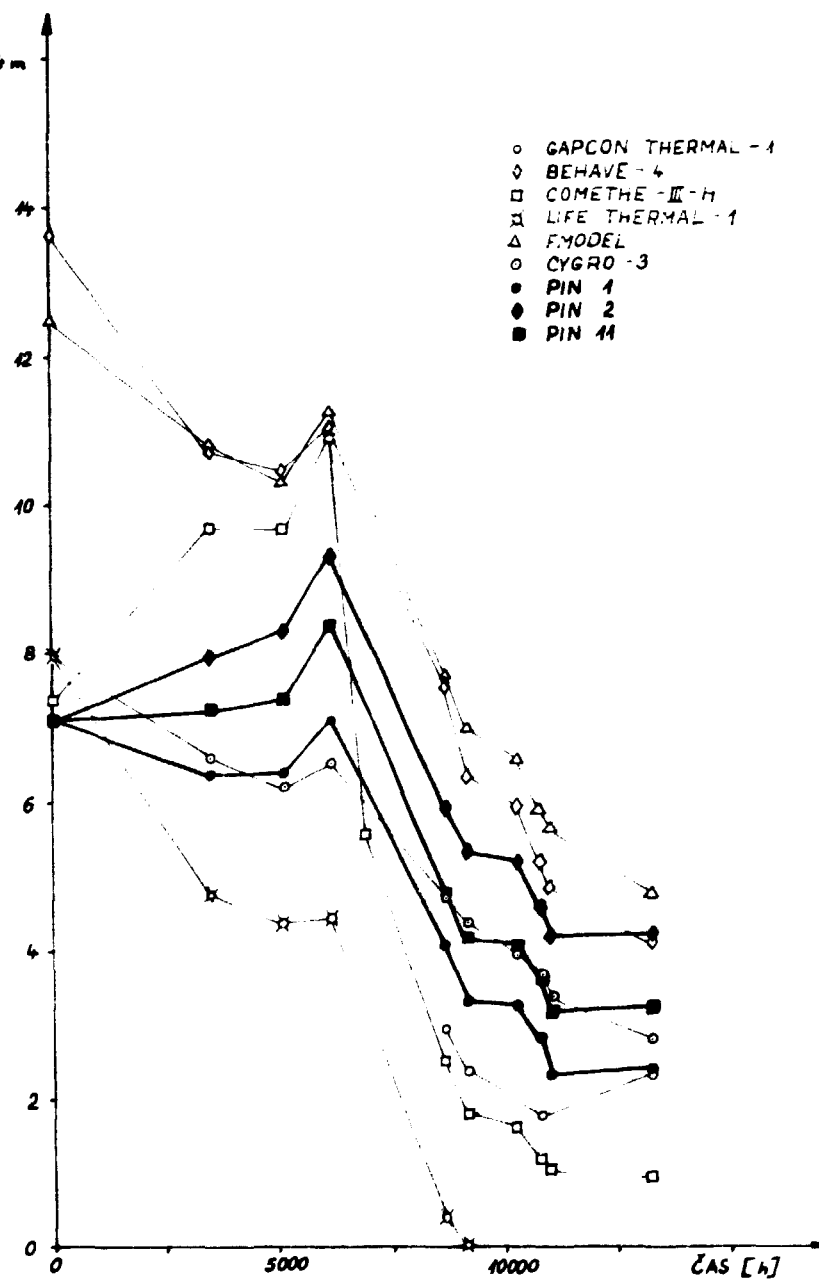
MEZERA MEZI
PALIVEM A
POKRYTÍM
VE VÝŠCE 0,25 m
[10⁻⁵ m]



1. 1. 1. 1.

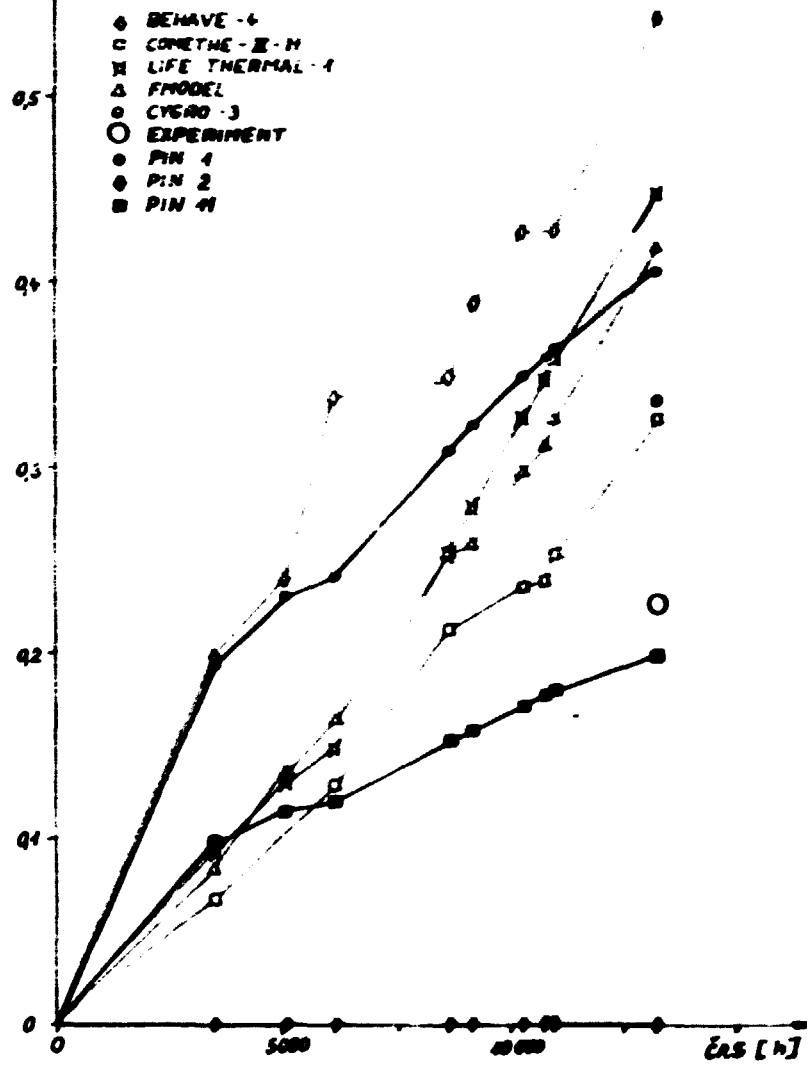
VARIANTA - D

MEZERA MEZI
PALIVEM A
POKRYTÍM
VE VÝŠCE 2,4 m
[10⁻⁶ m]



VARIANTA - D

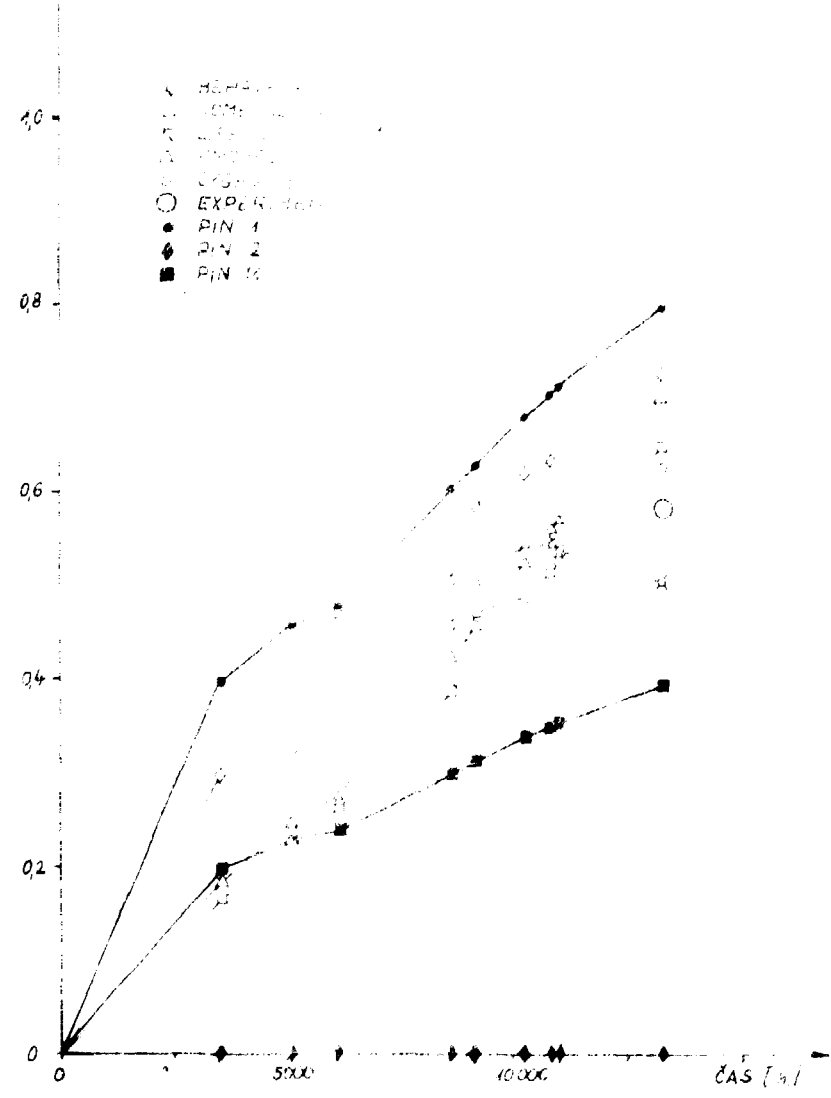
TRVALÁ
DEFORMACE
POKRYTÍ
VE VÝŠCE 025 m
 $\Delta D/D$ [%]



obr. 4.4.11.

Č. 1001 N/PA - 10

TRVALÁ
DEFORMACE
POKRYTÍ
VE VÝŠCE 2,4 m
 $\Delta D/D$ [%]



Číslo 1001 N/PA - 10

5. ZHODNOCENÍ PROGRAMU

Předložená zpráva pokračuje v hodnocení a ověřování programu pro termomechanické modelování palivových článků lehkovodních reaktorů, PIN, započatém v /1/. Hodnocení je opět prováděno na základě dvou nejspolehlivěji experimentálně ověřených veličin, relativním uvolněním plyných produktů štěpení z paliva, F [%] a teplotě v centru paliva, T [°C]. Za kritérium byl v souladu s /1/ zvolen součet absolutní hodnoty střední odchylky od experimentu a odmocniny rozptylu odchylek ($|\Delta\bar{F}| + \sqrt{\Delta F}$, $|\Delta\bar{T}| + \sqrt{\Delta T}$). Přepočty byly provedeny opět se dvěma různými modely uvolňování plyných produktů štěpení paliva (PIN-1 a PIN-3). Jako PIN-KOR jsou pro varianty A + D označeny po řadě výpočty PIN-3, PIN-3, PIN-5 a PIN-11, které reprezentují případně zdůvodněné korekce oproti výpočtu PIN-3. Odchylky predikce F jednotlivými programy /2/ a programem PIN od experimentu (ΔF) jsou na obr. 5.1. Obdobným způsobem je zhodnocena predikce teplot na obr. 5.2. Predikce úniku štěpných plynů z paliva je u všech programů srovnatelná (tab. 5.1.).

Tabulka 5.1.:

Program	Predikce F		Predikce T	
	$ \Delta\bar{F} + \sqrt{\Delta F}$	[%]	$ \Delta\bar{T} + \sqrt{\Delta T}$	[°C]
BEHAVE - 4	10,38		359,2	
COMETHE - III - H	14,90		139,5	
CYPRO - 3	-		299,5	
FMODEL	15,80		301,9	
GAPCON-THERMAL-1	3,67		109,6	
LIPE - THERMAL - 1	13,13		372,3	
PIN - 1	34,13		301,7	
PIN - 3	11,61		288,1	
PIN - KOR	5,09		146,0	

Vyjímkou je výrazně lepší predikce programem GAPCON-THERMAL-1, což je však zarážející vzhledem ke zjednodušení a omezení v modelování palivového článku tímto programem /2/. Lze předpokládat, že tato shoda je víceméně náhodná a silně ovlivněna pravděpodobně ne zcela nezaujímavým přístupem k zadávání dat pro program GAPCON-THERMAL-1 (totéž lze shodně konstatovat u predikce teplot). Predikce programem PIN je ovlivněna volbou modelu uvolňování produktů štěpení z paliva. Časově nezávislý model /6/ dává výrazně horší predikci v soulase se závěry /1/ i s programy BEHAVE-4 a GAPCON-THERMAL-2 v /6/ a /1/ kde byly použity s tímtož modelem. S časově závislým modelem /5/ jsou výsledky programu PIN srovnatelné s ostatními programy. Poněkud horší predikce štěpných produktů ve srovnání s /1/ je způsobena výsledky varianty C (podrobněji viz. kap. 4.3.). Predikce uvolnění štěpných plynů z paliva programem PIN s některými korekcemi (PIN-KOR) je výrazně lepší a srovnatelná s nejlepšími programy v /1/. Z hlediska predikce teplot v centru paliva lze programy rozdělit do dvou skupin. Programy s výrazně lepší predikcí teplot, COMETHE-III-J a GAPCON-THERMAL-1 (u kterého však platí výhrady uvedené výše), mezi něž lze zařadit výpočty programem PIN označené PIN-KOR a ostatní programy u nichž predikce teplot zhruba odpovídá úrovni v /1/ a mezi něž lze zařadit i základní výpočty programem PIN s oběma uvažovanými modely uvolňování produktů štěpení z paliva. Ověřování programu opět potvrdilo oprávněnost používání časově závislého modelu uvolňování produktů štěpení z paliva.

Tabulka 5.2.:

Výpočet	Predikce F [%]			Predikce T [°C]		
	$\Delta\bar{F}$	$\sqrt{\Delta F}$	$ \Delta\bar{F} + \sqrt{\Delta F}$	$\Delta\bar{T}$	$\sqrt{\Delta T}$	$ \Delta\bar{T} + \sqrt{\Delta T}$
PIN - 1	15,19	17,47	32,66	-3,9	204,1	208,0
PIN - 3	-1,96	7,33	9,29	-68,5	191,8	260,3
PIN - KOR	-1,66	2,82	4,48	-22,7	100,0	122,7

Celkové hodnocení programu PIN zahrnující i výsledky /1/ je v tab.5.2. Na základě těchto údajů lze konstatovat, že program PIN v kombinaci s časově závislým modelem pro uvolňování štěpných produktů (PIN-3) je s hlediska predikce teplot a úniku štěpných produktů z paliva srovnatelný s programy COMSTHE-III-J, LIPE-THERMAL-1 a BEHAVE-4, které jsou hodnoceny v /2/ a /6/ nejlépe. V řadě případů však mohou být větší rozdíly oproti experimentu vysvětleny a je možno se jich v dalších výpočtech vyvarovat (PIN-KOR), čímž lze výrazně zvýšit spolehlivost získaných údajů (tab. 5.2.). I přes relativně dobrou predikci konstantního tlaku pokrytí u varianty B však program PIN není vhodný pro určování namáhání materiálu pokrytí při kontaktu s palivem či k predikci poruch článků v důsledku napěťové koroze během provozu. Hlavním důvodem je silně zjednodušený model napjatosti v pokrytí a palivu při kontaktu ponechaný v programu PIN s programem GAPCON-THERMAL-2.

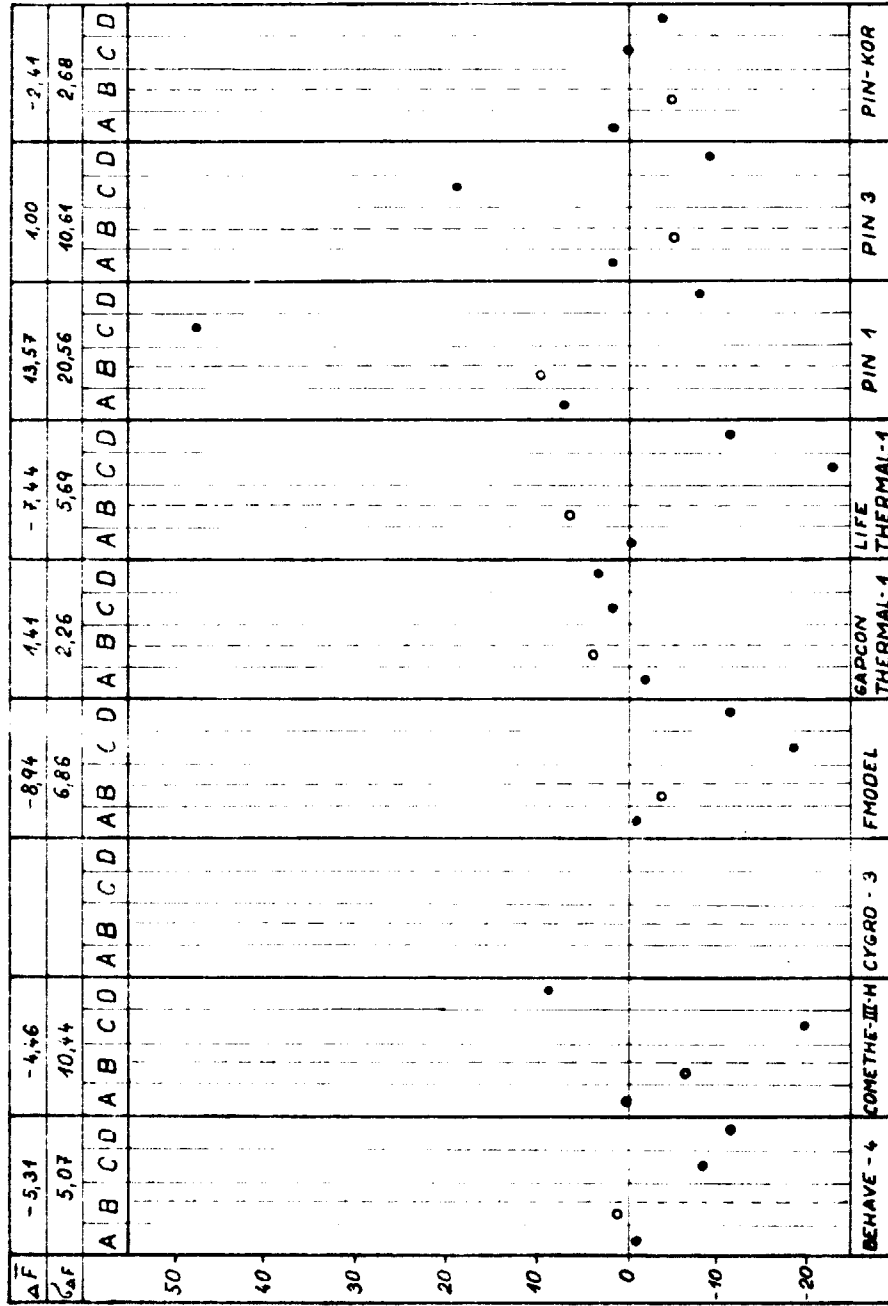
6. ZÁVĚR

Ve zprávě je popsána další fáze ověřování vhodnosti programu PIN pro termomechanické modelování palivových článků lehkovodních reaktorů navazující na /1/. Na základě získaných výsledků je možno potvrdit předběžné závěry /1/, že predikce parametrů potřebných pro analýzy havárií s reaktivitou (především součinitel prostupu tepla), pro analýzy se ztrátou chladiwa (především akumulovaná energie v palivu) a výchozí údaje pro modely chování článku v havarijních podmínkách jsou programem PIN určovány s přesností srovnatelnou s ostatními programy hodnocenými v /2/ a /6/. Přesnost predikce jednotlivých parametrů je možno odhadnout z údajů uvedených v kap. 5. Program je možno používat i pro jiné účely, např. posouzení změn parametrů palivových článků, není však v nynější verzi vhodný k přímé predikci provozních poruch palivových článků. V budoucnu se počítá s dalšími úpravami programu oproti použité verzi popsané v /3/.

7. LITERATURA

- /1/ J.Kunt, P.Pazdera: Testování programu PIN na experimentech ze zprávy EPRI-NP-369. Výzkumná zpráva ÚJV 5094 - T. Listopad 1979. ÚJV Řež.
- /2/ Andrews, M.G., Freeburn, H.R., Pati, S.R.: Light Water Reactor Fuel Rod Modeling Code Evaluation. CENPD - 218.
- /3/ J.Kunt, P.Pazdera: PIN a CAN: Programy pro termomechanické modelování palivových článků tepelných respektive rychlých reaktorů s kyslíčnickovým palivem. Výzkumná zpráva ÚJV Řež 5181 - T. září 1979.
- /4/ Beyer, C.E., Hann, C.R., Lanning, D.D., Pianisko, F.E., Parchen, L.J.: GAPCON-THERMAL-2: A Computer Program for Calculating the Thermal Behaviour of an Oxide Fuel Rod. BNWL - 1898.
- /5/ MacDonald, P.E., Thompson, L.B.: MATPRO: VERSION 09. A Hand book of Materials Properties for Use in the Analysis of Light Water Reactor Fuel Rod Behaviour. TREE-NUREG-1005.
- /6/ Freeburn, H.R., Pati, S.R., Fiero, I.B.: Light Water Reactor Fuel Rod Modeling Code Evaluation. EPRI-NP-369.
- /7/ H.Heckermann, W.Hoppe: Sensitivity of Fuel Performance Code Analysis to Design and Property Assumption. 4 th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, San Francisko, 1977.

POROVNÁNÍ PREDIKACE UVOLŇOVÁNÍ PLYNŮ PROGRAMEM PIN
S CENPD - 245

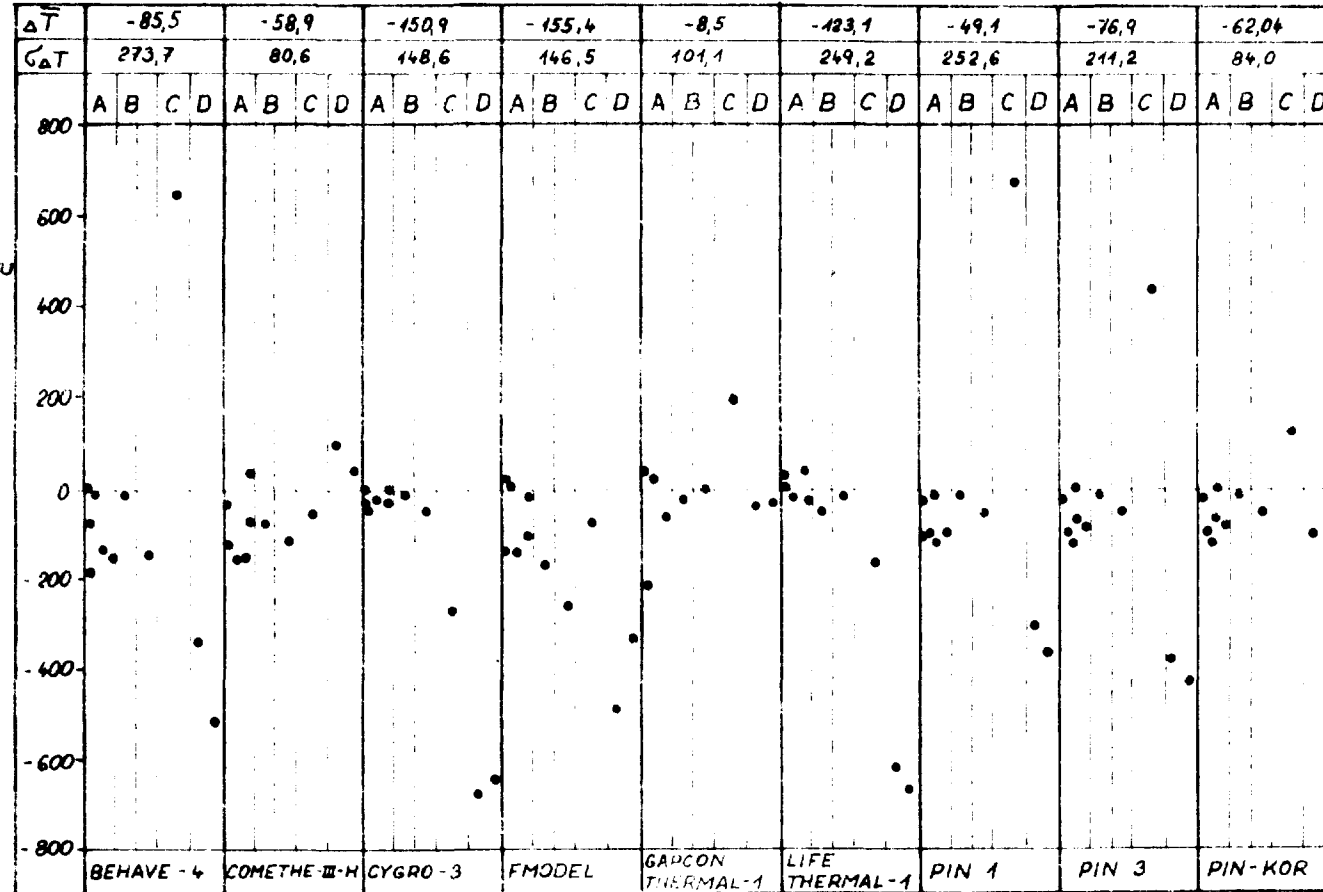


ΔF - ABSOLUTNÍ
ROZDÍL
PREDIKCE
RELATIVNÍHO
UNIKU
ŠTĚPNÝCH
PLYNŮ
Z PALIVA
OPROTÍ
EXPERIMENTU
[%]

Tab. 5.1.

POROVNÁNÍ PREDIKCE TEPLOT PROGRAMEM PIN
S CENPD - 215

ΔT -
- ROZDÍL
PREDIKCE
TEPLoty
V CENTRU
PALIVA
OPROTÍ
EXPERIMENTU
[°C]



07

10. 1. 2.