

Realisierung virtueller paralleler DNOVP-Simulationsmodelle. Ersten Erfahrungen

Автор: Prof. Dr.-Ing. V.A. Svjatnyj

Источник: Virtuelle parallele Simulationsmodelle und ein Devirtualisierungsvorgang der Entwicklung von parallelen Simulatoren für dynamische Netzobjekte mit verteilten Parametern. Vortrag am HLRS, Universität Stuttgart – 2009

- 1 Beschreibung der Test-Netzobjekte
 - 1.1 Kleines Netzobjekt (DNO1)
 - 1.2 Industrienahes Netzobjekt (DNO2)
- 2 Die Implementierungsaufgabenstellungen
 - 2.1 Implementierung des Simulationsmodells der j-Kante des Netzobjektes (sequentieller Kantesimulator)
 - 2.2 Implementierung des Simulationsmodells des kleinen Testnetzobjektes (sequentieller DNO1-Simulator)
 - 2.3 Implementierung des Simulationsmodells des industrienahen Testnetzobjektes (sequentieller DNO2-Simulator).
- 3 Die laufenden Ergebnisse
 - 3.1 Die sequentiellen Kanten-, DNO1- und DNO2-Simulatoren

1 Eine Beschreibung der Test-Netzobjekte

1.1 Kleines Netzobjekt (DNO1)

Für die Implementierungen von virtuellen parallelen DNOVP-Simulationsmodellen wird in Abb.14 gezeigtes Versuchsbewitterungsnetz der Kohlegrube benutzt: hier werden zwei Grubenebenen (Arbeitstiefe) dargestellt. DNO-Graph wurde nach Baum und Antibaum zerlegt. Dabei die Vektoren $X = (X_1 X_2 X_3 X_4)^T$ und $Y = (Y_1 Y_2 Y_3 Y_4)^T$ sind die Luftströme entsprechend in den Baum- und in Antibaumkanten des Graphen. Für Luftstrom in j-Kante $Q_j (X_j \text{ oder } Y_j)$ ist das Gleichungssystem gültig:

$$\begin{cases} -\frac{\partial P_j}{\partial \xi} = r_j Q_j^2 + \frac{\rho}{F_j} \frac{\partial Q_j}{\partial t} + r_j(\xi_p, t) Q_j^2 \\ -\frac{\partial P_j}{\partial t} = \frac{\rho a^2}{F_j} \frac{\partial Q_j}{\partial \xi}, \end{cases} \quad (7)$$

Nach der Ortsdiskretisierung der Kanten und Approximation der Gleichungen (7) entsprechend dem Linienverfahren bekommen wir für jede Kante die Simulationsmodelle, die aus $2 \cdot M_j$ Differentialgleichungen bestehen. Hier ist M_j die Menge der Elementen, auf welchen j-Kante zerlegt wird. Die Gleichungssystem (8) – (9) stellt das Simulationsmodell des gesamten Netzobjekt (Abb.14) dar. Im System sind $\mathbf{X}P_{jk}$, $\mathbf{Y}P_{jk}$ die Druckwerte im k-Approximationpunkt der j-Kante. Bei der Implementierung können wir auch die Bezeichnungen Q_j , P_j für j-Kante sowie Q_{jk} , P_{jk} für die k-Elementen der j-Kanten verwenden. Bei der Ortsdiskretisierung der Kanten lohnt sich die Randbedingungen, d. h. die Druckwerte in den Anfangs- und Endknoten der Kanten, durch die Knotendruckwerte zu bezeichnen. Dann wird Anfangselement der j-Kante Q_{j1} die relevante Druckwerte P_{uq} und P_{j1} haben (q ist Knotennummer, wo j-Kante sich beginnt). In diesem Fall sind Q_{j1} , P_{j1} ,

Q_{jk} , P_{jk} die gesuchten Variablen bei der Lösung von Gleichungspaare der Kantenelementen j_1, j_2, \dots, j_{M_j} .

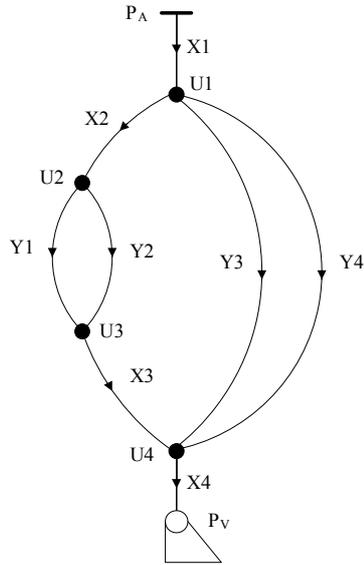


Abb. 14. Test-Netzobjekt $m=8$, $n=4$.

$$\left. \begin{array}{l} \dot{X}_{11} = \alpha_{X1}(XP_{11} - XP_{12}) - \beta_{X1}X_{11}|X_{11}| \\ X\dot{P}_{12} = \gamma_{X1}(X_{11} - X_{12}) \\ \dot{X}_{12} = \alpha_{X1}(XP_{12} - XP_{13}) - \beta_{X1}X_{12}|X_{12}| \\ X\dot{P}_{13} = \gamma_{X1}(X_{12} - X_{13}) \\ \dots \dots \dots \end{array} \right\} \text{Zweig X1} \quad (8)$$

$$\left. \begin{array}{l} \dot{X}_{1mX1} = \alpha_{X1}(XP_{1mX1} - P_{U1}) - \beta_{X1}X_{1mX1}|X_{1mX1}| \\ \dot{P}_{U1} = \gamma_{X1}(X_{1mX1} - X_{21} - Y_{31} - Y_{41}) \\ \dot{X}_{21} = \alpha_{X2}(P_{U1} - XP_{22}) - \beta_{X2}X_{21}|X_{21}| \\ X\dot{P}_{22} = \gamma_{X2}(X_{21} - X_{22}) \\ \dot{X}_{22} = \alpha_{X2}(XP_{22} - XP_{23}) - \beta_{X2}X_{22}|X_{22}| \\ X\dot{P}_{23} = \gamma_{X2}(X_{22} - X_{23}) \\ \dots \dots \dots \end{array} \right\} \text{Zweig X2} \quad (9)$$

$$\left. \begin{array}{l} \dot{X}_{2mX2} = \alpha_{X2}(XP_{2mX2} - P_{U21}) - \beta_{X2}X_{2mX2}|X_{2mX2}| \\ \dot{P}_{U2} = \gamma_{X2}(X_{2mX2} - Y_{11} - Y_{21}) \end{array} \right\}$$

$$\left. \begin{array}{l}
\left\{ \begin{array}{l}
\dot{Y}_{11} = \alpha_{Y1}(P_{U2} - YP_{12}) - \beta_{Y1} Y_{11} | Y_{11} | \\
Y \dot{P}_{12} = \gamma_{Y1}(Y_{11} - Y_{12}) \\
\dot{Y}_{12} = \alpha_{Y1}(YP_{12} - YP_{13}) - \beta_{Y1} Y_{12} | Y_{12} | \\
Y \dot{P}_{13} = \gamma_{Y1}(Y_{12} - Y_{13}) \\
\cdot \cdot \cdot \cdot \\
\dot{Y}_{1mY1} = \alpha_{Y1}(YP_{1mY1} - P_{U3}) - \beta_{Y1} Y_{1mY1} | Y_{1mY1} | \\
\dot{P}_{U3} = \gamma_{Y1}(Y_{1mY1} + Y_{2mY2} - X_{31})
\end{array} \right\} \\
\end{array} \right\} \text{Zweig Y1} \quad (10)$$

$$\left. \begin{array}{l}
\left\{ \begin{array}{l}
\dot{Y}_{21} = \alpha_{Y2}(P_{U2} - YP_{22}) - \beta_{Y2} Y_{21} | Y_{21} | \\
Y \dot{P}_{22} = \gamma_{Y2}(Y_{21} - Y_{22}) \\
\dot{Y}_{22} = \alpha_{Y2}(YP_{22} - YP_{23}) - \beta_{Y2} Y_{22} | Y_{22} | \\
Y \dot{P}_{23} = \gamma_{Y2}(Y_{22} - Y_{23}) \\
\cdot \cdot \cdot \cdot \\
\dot{Y}_{2mY2} = \alpha_{Y2}(YP_{2mY2} - P_{U3}) - \beta_{Y2} Y_{2mY2} | Y_{2mY2} | \\
\dot{P}_{U3} - \text{aus Gleichung für Zweig Y1}
\end{array} \right\} \\
\end{array} \right\} \text{Zweig Y2} \quad (11)$$

$$\left. \begin{array}{l}
\left\{ \begin{array}{l}
\dot{Y}_{31} = \alpha_{Y3}(P_{U1} - YP_{32}) - \beta_{Y3} Y_{31} | Y_{31} | \\
Y \dot{P}_{32} = \gamma_{Y3}(Y_{31} - Y_{32}) \\
\dot{Y}_{32} = \alpha_{Y3}(YP_{32} - YP_{33}) - \beta_{Y3} Y_{32} | Y_{32} | \\
Y \dot{P}_{33} = \gamma_{Y3}(Y_{32} - Y_{33}) \\
\cdot \cdot \cdot \cdot \\
\dot{Y}_{3mY3} = \alpha_{Y3}(YP_{3mY3} - P_{U4}) - \beta_{Y3} Y_{3mY3} | Y_{3mY3} | \\
\dot{P}_{U4} = \gamma_{Y3}(X_{3mX3} + Y_{3mY3} + Y_{4mY4} - X_{41})
\end{array} \right\} \\
\end{array} \right\} \text{Zweig Y3} \quad (12)$$

$$\left. \begin{array}{l}
\left\{ \begin{array}{l}
\dot{Y}_{41} = \alpha_{Y4}(P_{U1} - YP_{42}) - \beta_{Y4} Y_{41} | Y_{41} | \\
Y \dot{P}_{42} = \gamma_{Y4}(Y_{41} - Y_{42}) \\
\dot{Y}_{42} = \alpha_{Y4}(YP_{42} - YP_{43}) - \beta_{Y4} Y_{42} | Y_{42} | \\
Y \dot{P}_{43} = \gamma_{Y4}(Y_{42} - Y_{43}) \\
\cdot \cdot \cdot \cdot \\
\dot{Y}_{4mY4} = \alpha_{Y4}(YP_{4mY4} - P_{U4}) - \beta_{Y4} Y_{4mY4} | Y_{4mY4} | \\
\dot{P}_{U4} - \text{aus Gleichung für Zweig Y3}
\end{array} \right\} \\
\end{array} \right\} \text{Zweig Y4} \quad (13)$$

$$\left. \begin{array}{l} \dot{X}_{31} = \alpha_{X3}(P_{U3} - XP_{32}) - \beta_{X3}X_{31}|X_{31}| \\ X\dot{P}_{32} = \gamma_{X3}(X_{31} - X_{32}) \\ \dot{X}_{32} = \alpha_{X3}(XP_{32} - XP_{33}) - \beta_{X3}X_{32}|X_{32}| \\ X\dot{P}_{33} = \gamma_{X3}(X_{32} - X_{33}) \\ \dots \\ \dot{X}_{3mX3} = \alpha_{X3}(XP_{3mX3} - P_{U4}) - \beta_{X3}X_{3mX3}|Y_{3mX3}| \\ \dot{P}_{U4} - \text{aus Gleichung für Zweig Y3} \end{array} \right\} \text{Zweig X3} \quad (14)$$

$$\left. \begin{array}{l} \dot{X}_{41} = \alpha_{X4}(P_{U4} - XP_{42}) - \beta_{X4}X_{41}|X_{41}| \\ X\dot{P}_{42} = \gamma_{X4}(X_{41} - X_{42}) \\ \dot{X}_{42} = \alpha_{X4}(XP_{42} - XP_{43}) - \beta_{X4}X_{42}|X_{42}| \\ X\dot{P}_{43} = \gamma_{X4}(X_{42} - X_{43}) \\ \dots \\ \dot{X}_{4mX4} = \alpha_{X4}(XP_{4mX4} - P_V) - \beta_{Y4}X_{4mX4}|X_{4mX4}| \\ \dot{P}_V = f(X_{4mX4}) \end{array} \right\} \text{Zweig X4} \quad (15)$$

Die Parametern des Testnetzobjektes Abb.14 sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1.

\Par Zw.\	L	F	r	$\Delta\xi, m$ Δx	M_{Xj} M_{Yq}	α	β	γ	Test PA	Test Pv	Test Q
X1 (Q1)	800	6.5	0.000484	40	20	0.13	0.00252	523.6	0.0		71.6
X2 (Q2)	150	6.5	0.000484	40	4	0.13	0.00252	523.6			28.9
X3 (Q7)	150	6.5	0.000484	40	4	0.13	0.00252	523.6			28.9
X4 (Q8)	650	6.5	0.000484	40	16	0.13	0.00252	523.6		-4100.	71.6
Y1 (Q3)	1925	4.67	0.00105	40	48	0.093	0.004	728.6			14.4
Y2 (Q4)	1410	5.98	0.0019	40	35	0.12	0.009	569.1			14.9
Y3 (Q5)	1720	4.5	0.00112	40	43	0.09	0.004	756.2			19.2
Y4 (Q6)	934	4.97	0.00137	40	23	0.1	0.0055	684.7			23.7

Die Ortsschrittweite $\Delta\xi$ werden wir im Bereich von 5.0 ... 50.0 Meter benutzen. In Tab.1 sind die Parametern α , β , γ für $\Delta\xi = 40.0$ berechnet. Im Programm sollen diesen Parametern nach Formeln

$$\alpha = \frac{S_j}{\Delta x \rho}; \quad \beta = \frac{r_j S_j}{\rho}; \quad \gamma = \chi = \frac{\rho \alpha^2}{\Delta x S_j}. \quad S_j = F_j, \quad \Delta\xi = \Delta x \quad (16)$$

berechnet werden, um flexibel verschiedene Ortsschrittweiten zu berücksichtigen.

Die Spalte M_{Xj} M_{Yq} beinhaltet die Menge von Elementen (Stützpunkten) in den ortsdiskretisierten Kanten, die auch abhängig von ausgewählten $\Delta\xi = \Delta x$ berechnet werden sollen:

$$M_j = L_j / \Delta x$$

Im Gleichungssystem (8)...(15) sind die Indexe $mX_4 = MX_4 = M_j$ zu verstehen.

Die Randbedingungen für das Gleichungssystem (8) – (15) sind:

- Die vom Ventilator erzeugte Druckdifferenz $P_v = H = -4100 \text{ N/m}^2$ am Ende der Kante X4 (Q8); für die Testlösungen bleibt $H = \text{const}$ oder $H = f(t)$; die reale Ventilatorcharakteristik wird eine Funktion $H(Q_8) = H(X_4)$ sein;
- Die Druckdifferenz bezüglich der Atmosphäre $P_A = 0.0$;
- Die innere Randbedingungen – Druckwerte P_U in den Knoten – werden während der Lösung des DNO-Gleichungssystem (8) – (15) als gesuchte Variablen berechnet.

In der Spalte Test Q sind die stationäre Q-Werte gegeben, die als wirkliche Lösungen berücksichtigt werden sollen.

1.2 Industrienahes Testnetzobjekt (DNO2)

Als zweites Testobjekt nehmen wir einen Grubenbewetterungsnetz, der als dynamisches Netzobjekt mit verteilten Parametern (DNOVP) betrachtet wird. In Abb.15 ist der Graph und in Tab.3 sind seine Parameter dargestellt. Die Graphenkanten werden in Tab.3 als Q1,...,Q117 bezeichnet.

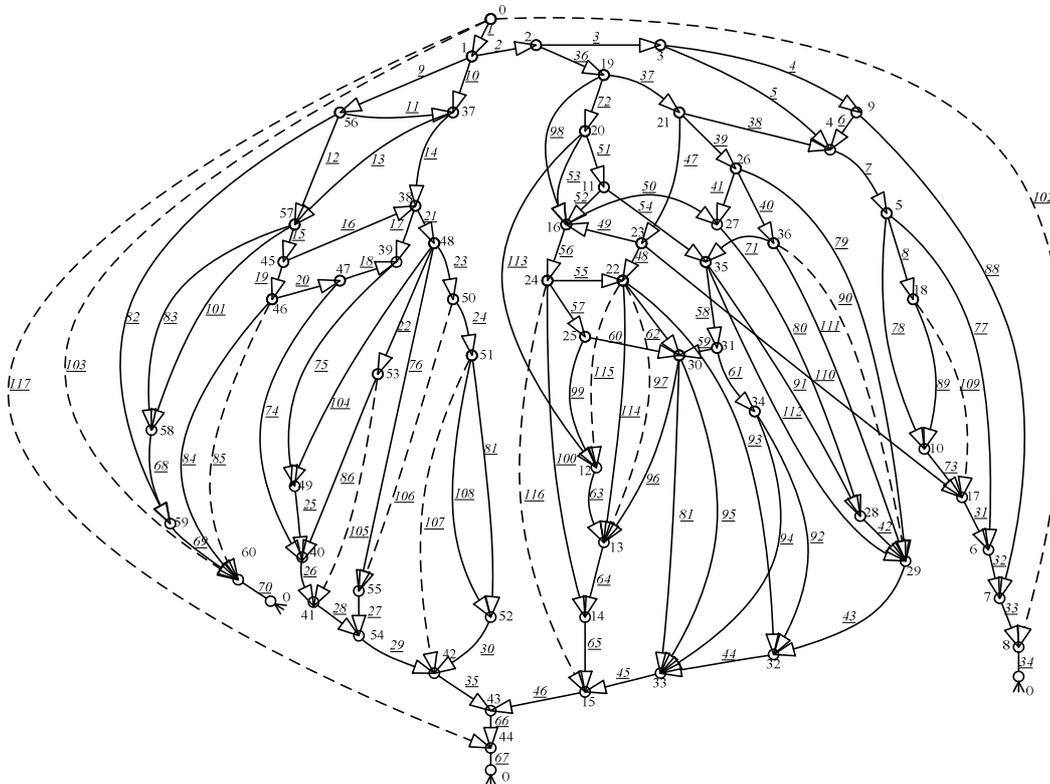


Abb.15. Graph des Grubenbewetterungsnetzes DNO2 ($m=117$, $n=61$)

Graph DNO2 hat $m=117$ Kanten und $n=61$ Knoten. In Tab.3 werden bezeichnet:

- AK_i, EK_i – Anfangs- und Endknoten der j -Kante, $i = 0, 1, 2, \dots, n-1$;
- Q_j – Nummer der Kanten und der Luftströme; Tabelle 3 wird nach $j = 1, 2, \dots, m$ strukturiert;
- R_j – aerodynamischer Widerstand der j -Abbauten;
- $Q_{j\text{stat}}$ – die stationären Luftstromwerte, die in Abbauten der Grube als Messergebnisse bekommen wurden;
- H_{vj} – die von den Ventilatoren erzeugten Druckdifferenzen, die als nominale Werte der realen Ventilatoren in den zugehörigen Kanten (Abbauten) eingetragen sind;
- F_j, L_j – entsprechend die Querschnittsflächen und Längen der j -Abbauten;

- P_j , a_j und K_j – entsprechend Perimeter des Querschnittes und die aerodynamischen Widerstands- sowie Zeitkonstantskoeffiziente der j-Abbauten.

Tabelle 3. Kodierungs- und Parametertabelle des DNO2

AKi	EKi	Qj	Rj	Qjstat	Hvj	Fj	Pj	aj	Lj	Kj
0	1	1	0.018	211.2	0	13	14.5	0.011	248	23.6
1	2	2	0.017	132	0	13	14.5	0.011	234	22.3
2	3	3	0.114	57.8	0	10	13	0.022	399	49.4
3	9	4	0.212	23.76	0	10	13	0.022	741	91.9
3	4	5	0.121	34.04	0	10	13	0.022	423	52.5
4	9	6	0.104	-13.13	0	10	13	0.022	364	45.1
4	5	7	0.096	52.49	0	10	13	0.022	336	41.6
5	18	8	0.099	14.27	0	12	14	0.022	555	57.4
1	56	9	0.025	35.18	0	12	14	0.017	182	18.8
1	37	10	0.02	44.04	0	12	14	0.017	145	15
56	37	11	0.04	11.92	0	12	14	0.017	290	30
56	57	12	0.04	20.21	0	12	14	0.017	290	30
37	57	13	0.024	19.48	0	12	14	0.017	174	18
37	38	14	0.393	36.48	0	8	12	0.016	1048	162.4
57	45	15	0.457	33.48	0	8	12	0.016	1219	188.9
45	38	16	0.02	5.46	0	12	14	0.017	145	15
38	39	17	0.64	7.7	0	8	12	0.023	1187	184
47	39	18	0.042	3.87	0	12	14	0.017	305	31.5
45	46	19	0.044	28.02	0	12	14	0.017	319	33
46	47	20	0.024	22.55	0	12	14	0.017	174	18
38	48	21	0.07	34.24	0	10	13	0.022	245	30.3
48	53	22	0.104	3.99	0	10	13	0.022	364	45.1
48	50	23	0.114	9.99	0	10	13	0.022	399	49.4
50	51	24	0.036	6.88	0	12	14	0.017	261	27
49	40	25	0.036	13.57	0	12	14	0.017	261	27
40	41	26	0.032	34.25	0	12	14	0.017	232	24
55	54	27	0.059	21.37	0	10	13	0.016	284	35.2
41	54	28	0.057	41.71	0	10	13	0.016	274	34
54	42	29	0.059	63.08	0	10	13	0.016	284	35.2
52	42	30	0.03	4.52	0	12	14	0.017	218	22.5
17	6	31	0.078	33.39	0	10	13	0.016	375	46.5
6	7	32	0.09	54.64	0	10	13	0.016	433	53.7
7	8	33	0.014	65.28	0	19.6	18	0.018	325	20.6
8	0	34	0.031	81.98	3000	6.6	10.6	0.023	37	6.9
42	43	35	0.126	69.96	0	10	13	0.022	441	54.6
2	19	36	0.081	74.21	0	10	13	0.022	283	35.1
19	21	37	0.045	39.13	0	12	14	0.017	327	33.8

21	4	38	0.26	5.31	0	8	12	0.016	693	107.5
21	26	39	0.491	14.64	0	8	12	0.023	911	141.2
26	36	40	0.088	7.07	0	10	13	0.022	308	38.2
26	27	41	0.4	0.33	0	8	12	0.016	1067	165.3
28	29	42	0.059	9.01	0	12	14	0.017	428	44.3
29	32	43	0.195	19.19	0	8	12	0.016	520	80.6
32	33	44	0.112	21.77	0	10	13	0.022	392	48.6
33	15	45	0.624	36.59	0	8	12	0.023	1158	179.4
15	43	46	0.039	66.73	0	12	14	0.017	283	29.3
21	23	47	0.176	19.17	0	10	13	0.022	615	76.3
23	22	48	0.551	10.7	0	8	12	0.023	1022	158.4
23	16	49	0.122	6.32	0	10	13	0.022	427	52.9
16	27	50	0.534	7.38	0	8	12	0.023	991	153.5
20	11	51	0.051	21.01	0	12	14	0.017	370	38.3
11	16	52	0.078	13.5	0	12	14	0.017	566	58.5
20	16	53	0.38	9.11	0	8	12	0.016	1013	157.1
11	35	54	0.83	7.51	0	8	12	0.023	1540	238.7
24	22	55	0.203	2.76	0	10	13	0.022	710	88
16	24	56	0.112	23.37	0	10	13	0.022	392	48.6
24	25	57	0.08	11.58	0	10	13	0.022	280	34.7
35	31	58	0.175	10.34	0	8	12	0.016	467	72.3
31	30	59	0.205	6.58	0	8	12	0.016	547	84.7
25	30	60	0.072	7.66	0	10	13	0.022	252	31.2
31	34	61	0.158	3.76	0	4	8	0.025	51	15.7
22	30	62	0.752	2.74	0	4	8	0.025	241	74.6
12	13	63	0.56	9.74	0	8	12	0.023	1039	161
13	14	64	0.112	21.39	0	10	13	0.022	392	48.6
14	15	65	0.014	26.37	0	12	14	0.017	102	10.5
43	44	66	0.012	136.7	0	19.6	18	0.012	418	26.5
44	0	67	0.036	154.4	4000	6.6	10.6	0.023	42	8
58	59	68	1.2	6.21	0	8	12	0.023	2226	345
59	60	69	0.265	9.26	0	4.2	8.24	0.033	74	21.7
60	0	70	0.048	23.31	2000	6.6	10.6	0.023	57	10.6
36	35	71	0.024	4.91	0	12	14	0.017	174	18
19	20	72	0.093	33.26	0	10	13	0.022	325	40.3
10	17	73	0.152	28.72	0	10	13	0.022	531	65.9
47	40	74	1.49	18.68	0	4.2	8.2	1.4936	113	33.4
39	49	75	3.8	11.58	0	2.5	4.5	0.0487	825	409.2
48	55	76	1.78	18.25	0	3.8	7.8	0.0746	1720	561.3
5	6	77	1.28	21.26	0	4	8	0.179	950	294.5
5	10	78	1.27	16.96	0	4	8	0.1508	900	279
26	29	79	1.15	7.23	0	4.1	8.1	0.0615	1000	302.4

27	28	80	0.93	7.71	0	4.2	8.2	0.082	850	251
30	33	81	1.31	10.74	0	4	8	0.0716	1200	372
56	59	82	120	3.05	0	2.0	5.64	1.62	114	65
57	58	83	120	2.96	0	2.0	5.64	1.62	114	65
46	41	84	150	1.94	0	2.0	5.64	1.62	141	81
46	41	85	46	3.51	0	2.0	5.64	1.75	40	23
53	40	86	120	2	0	2.0	5.64	1.62	114	65
51	52	87	240	1.87	0	2.0	5.64	2.10	175	100
9	7	88	10	10.63	0	2.0	5.64	0.015	1050	600
16	10	89	2.5	11.76	0	2.0	5.64	0.015	260	150
36	29	90	90	0.79	0	2.0	5.64	1.75	79	45
35	28	91	30	1.29	0	2.0	5.64	0.64	31	17
34	32	92	40	1.62	0	2.0	5.64	1.75	35	20
22	32	93	120	0.94	0	2.0	5.64	1.75	105	60
34	33	94	35	2.13	0	2.0	5.64	1.74	33	18
30	33	95	40	1.94	0	2.0	5.64	1.75	35	20
30	13	96	50	4.3	0	2.0	5.64	1.75	42	25
22	13	97	150	2.5	0	2.0	5.64	1.75	131	75
19	6	98	42	1.81	0	2.0	5.64	1.75	36	21
25	12	99	50	4.18	0	2.0	5.64	1.75	42	25
24	14	100	40	4.97	0	2.0	5.64	1.75	35	20
57	58	101	100	3.24	0	2.0	5.64	1.75	88	50
0	8	102	10	16.71	0	2.0	5.64	1.75	8.8	5
0	60	103	10	14.05	0	2.0	5.64	1.75	8.8	5
48	49	104	120	1.99	0	2.0	5.64	1.62	114	65
53	41	105	130	1.99	0	2.0	5.64	1.63	122	70
50	55	106	60	3.11	0	2.0	5.64	1.75	53	30
51	42	107	150	2.36	0	2.0	5.64	1.88	122	70
51	52	108	120	2.64	0	2.0	5.64	1.62	114	65
18	17	109	75	2.5	0	2.0	5.64	1.64	70	40
23	17	110	150	2.15	0	2.0	5.64	1.88	122	70
36	29	111	30	1.37	0	2.0	5.64	1.55	31	17
35	29	112	90	0.78	0	2.0	5.64	1.75	79	45
20	12	113	100	3.13	0	2.0	5.64	1.75	88	50
22	13	114	40	4.84	0	2.0	5.64	1.75	35	20
22	12	115	150	2.42	0	2.0	5.64	1.75	130	75
24	15	116	70	3.78	0	2.0	5.64	1.75	61	35
0	44	117	10	17.72	0	2.0	5.64	1.75	8.8	5

2 Die Implementierungsaufgabenstellungen

2.1 Implementierung des Simulationsmodells der j-Kante des Netzobjektes (sequentieller Kantesimulator)

1. Als Objekt nehmen wir X1-Kante aus DNO1 Abb.14 und Parametern aus X1-Zeile mit der Vereinfachungen (siehe Tab.2). Dabei geben wir die gewünschte Q-Testwert=100 und bekommen die notwendige Druckdifferenz $H=(r*L)*100*100 = -4000.0$ N/mqu, die im Ventilator-„Saugbetrieb“ dieser Luftstrom mit der auf Abb.14 bezeichneten Stromrichtung gewährleistet.

Tabelle 2. Die Parametern der Versuchskante

Zw.\Par	L _j	F _j	r _j	$\frac{\Delta\xi, m}{\Delta x}$	M _j	α	β	γ	Test PA	Test PV	Test Qstaz
X1(Q1)	800	6.5	0.0005	5. – 50.	160.-16.	1.04-0.104	0.0026	4187-418.7	0.0	-4000	100

2. Entwickeln wir das C/C++ - Programm (sequentieller Simulator) für die Lösung des Gleichungssystems (8) mit den obigen Parametern (Tab.2) und der Anwendung des Runge-Kutta-Verfahrens der 4. Ordnung

$$U_{n+1} = U_n + (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)/6 \quad (17)$$

mit den Koeffizienten

$$k_1 = hf(t_n, u_n), k_2 = hf(t_n + 0.5h, u_n + 0.5k_1), \\ k_3 = hf(t_n + 0.5h, u_n + 0.5k_2), k_4 = hf(t_n + h, u_n + k_3).$$

Dabei werden im Gleichungssystem (8) die folgenden Bezeichnungen benutzt:

$$X_{1k} = Q_{1k}, X_{P1k} = P_{1k}; k = 1, 2, \dots, M; \alpha_{x1} = \alpha; \beta_{x1} = \beta; \gamma_{x1} = \gamma, M=L/\Delta x.$$

Die Randbedingungen (RB) sollen in folgenden Varianten gegeben werden:

- RB-1 – die sprungweise H-Änderung von $H = 0.0$ ($t < 0$) bis zum $H = -4000$ ($t > 0$);
- RB-2 – die zeitlineare H-Änderung $H = at$ mit der Einschränkung von $H = 0.0$ ($t < 0$) bis zum $H = -4000$. ($t = 15$ sec) und $H = -4000. = \text{const}$;
- RB-3 – eine exponentielle H-Änderung entsprechend der Definitionsgleichung $dH/dt = (H_{\text{soll}} - H)/T$, $T = 5\text{sec}$, $H_{\text{soll}} = -4000$. (18)

3. Es sollen die folgenden dynamischen Prozesse visualisiert werden:

- $Q_1(t)$ – Luftstrom im Anfang der Kante, die Entfernung L von der Druckquelle (Saugbetriebsart des Ventilators);
- $Q_{M/2}(t)$ – Luftstrom in der Kantenmitte, die Entfernung L/2 von der Druckquelle;
- $Q_M(t)$ – Luftstrom im letzten Element der Kante, direkt bei der Druckquelle.

2.2 Implementierung des Simulationsmodells des kleinen Testnetzobjektes (sequentieller DNO1-Simulator)

1. Als Objekt nehmen wir DNOVP Abb.14 mit den in Tab.1 dargestellten Parametern. Die Graphenkanten werden wir weiter als Q1,...,Q8 bezeichnen. Die Zuordnung Q->X, Q->Y wird in Tab.1 gezeigt.

2. Entwickeln wir das C/C++ - Programm (sequentieller DNO1-Simulator) für die Lösung des Gleichungssystems (8) – (15) des DNOVP (Abb.14) mit den obigen Parametern

(Tab.1) und der Anwendung des Runge-Kutta-Verfahrens der 4. Ordnung . Dabei werden im Gleichungssystem die folgenden Bezeichnungen benutzt:

$(X_{jk}, Y_{jk}) = Q_{jk}, (XP_{jk}, YP_{jk}) = P_{jk}; k = 1, 2, \dots, M_j; (\alpha_{xj}, \alpha_{yj}) = \alpha_j; (\beta_{xj}, \beta_{yj}) = \beta_j; (\gamma_{xj}, \gamma_{yj}) = \gamma_j; j = 1, 2, \dots, m$ (m ist die Kantenmenge); $M_j = L_j/\Delta x_j$.

Die Randbedingungen (RB) sollen in den folgenden Varianten gegeben werden:

- RB-1 – die sprungweise H-Änderung von $H = 0.0$ ($t < 0$) bis zum $H = -4100$ ($t > 0$);

- RB-2 – die zeitlineare H-Änderung $H = at$ mit der Einschränkung von $H = 0.0$ ($t < 0$) bis zum $H = -4100$. ($t = 15$ sec) und $H = -4100. = \text{const}$ ab $t > 15$ sec;

- RB-3 – eine exponentielle H-Änderung entsprechend der Definitionsgleichung $dH/dt = (H_{\text{soll}} - H)/T$, $T = 5$ sec, $H_{\text{soll}} = -4100$.

3. Es sollen die folgenden dynamischen Prozesse visualisiert werden:

- $Q_{j1}(t)$ – Luftstrom im Anfang der j -Kante, die Entfernung L_j von der Druckquelle (Druck P_U in Endknoten);

- $Q_{jM_j/2}(t)$ – Luftstrom in der j -Kantenmitte, die Entfernung $L_j/2$ von der Druckquelle;

- $Q_{jM_j}(t)$ – Luftstrom im letzten Element der j -Kante, direkt bei der Druckquelle.

2.3 Implementierung des Simulationsmodells des industrienahen Testnetzobjektes (sequentieller DNO2-Simulator)

1. Als Testobjekt nehmen wir den realen Grubenbewetterungsnetz (Abb.15, $m=117$, $n=61$) mit den in Tab.3 dargestellten Parametern. Die Graphenkanten werden wir weiter als Q_1, \dots, Q_{117} bezeichnen.

2. Entwickeln wir das C/C++ - Programm (sequentieller DNO2-Simulator) für die Lösung des Gleichungssystems, das die dynamische Prozesse in dem DNOVP (Abb.15) mit den obigen Parametern (Tab.3) beschreibt und mit Hilfe des Gleichungsgenerators [10, 11, 13] erstellt wurde. Im ortsdiskretisierten DNOVP bilden die Vektoren der Luftströme und der Drücke ein Multivektorsystem, d. h. jede j -Kante ($j = 1 \dots m$) wird durch zwei Vektoren präsentiert

$Q_j = (Q_{j1}, Q_{j2}, \dots, Q_{jM_j})^T$ – Luftstrom in der j -Kante,

$P_j = (P_{j1}, P_{j2}, \dots, P_{jM_j+1})^T$ – Druck in der j -Kante,

dabei ist M_j die Elementenmenge in den Kanten. Für ganzes Netzobjekt werden die Vektoren Q und P als die Matrizen

$$Q = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & \dots & Q_{1M_1} \\ Q_{21} & Q_{22} & \dots & Q_{2M_2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q_{m1} & Q_{m2} & \dots & Q_{mM_m} \end{bmatrix}; P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1M_1+1} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2M_2+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{m1} & P_{m2} & \dots & P_{mM_m+1} \end{bmatrix}. \quad (19)$$

betrachtet. Die Elemente von Matrizen (19) werden aus folgenden Gleichungen berechnet:

$$\begin{cases} \dot{Q}_{jk} = \alpha_j (P_{jk} - P_{j,k+1}) - \beta_j Q_{jk} |Q_{jk}| - \beta_{rj} Q_{jk} |Q_{jk}| \\ \dot{P}_{j,k+1} = g_j (Q_{jk} - Q_{j,k+1}) \end{cases} \quad (20)$$

Hier sind $\alpha_j, \beta_j, \beta_{rj}, g_j$ die Elemente von Mengen der aerodynamischen Parameter.

Die Drücke in den Knoten werden durch die Gleichung

$$\dot{P}_{U_{j,k+1}} = g_j(Q_{jk} - \sum_i Q_{il}). \quad (21)$$

definiert. Nach der Formierung von Matrizen der Differenzen $\Delta Q_{jk} = Q_{jk} - Q_{j,k+1}$, $\Delta P_{jk} = P_{jk} - P_{j,k+1}$ und der Matrix \mathbf{ZQ} mit den Elementen $ZQ_{jk} = Q_{jk} / |Q_{jk}|$ wird das Gleichungssystem (20) in der folgenden Matrix-Vektor-Form dargestellt:

$$\begin{cases} \dot{Q} = \alpha \cdot \Delta P - \beta \cdot ZQ - \beta_r \cdot ZQ \\ \dot{P} = g \cdot \Delta Q \end{cases} \quad (22)$$

Vektor $P_U = (P_{U1}, P_{U2}, \dots, P_{U_{n-1}})^T$ der Knotendrücken als die inneren Randbedingungen für (22) wird durch die Differentialgleichung

$$\dot{P}_U = G(\text{sumRows}(Q_U)). \quad (23)$$

definiert. Hier sind: G – diagonale Parametermatrix von Type g der Kanten, die den Knoten inzident sind; sumRows – definiert die Operation der zeilenweisen Summierung der Elementen von Matrix Q_U ; Q_U – die Matrix mit den Elemente Q_{Ujk} , die von Elementen A_{jk} abhängig sind. Es werden in der Matrix P die Randelemente durch entsprechenden P_{Uj} ersetzt. Dabei dienen die Zeilen Uj in Matrix A als Identifikatoren der Anfangs- und Endknoten der Kanten.

Für die Lösung des DNOVP-Gleichungssystems (Simulationsmodell) (22) mit den inneren Randbedingungen (23) für die Kanten werden wir das Runge-Kutta-Verfahren der 4. Ordnung wie für obigen Testaufgaben verwenden. Dabei in (22) werden nicht regelbaren Luftströme betrachtet, d. h. nehmen wir

$$\beta_r = 0 \quad (24)$$

Die äußeren Randbedingungen (ÄRB) sind die von den Ventilatoren erzeugten Druckdifferenzen und Nulldruckdifferenz in den Anschlussknoten zur Atmosphäre (Knote 0 in Abb.15).

3. Die Varianten der äußeren Randbedingungen

Diesen Randbedingungen sollen in den folgenden Varianten gegeben werden:

- ÄRB-1 – die gleichzeitige sprungweise H_j -Änderung von $H_j = 0.0$ ($t < 0$) bis zu den nominalen Werte

$$H_{34} = -3000, H_{67} = -4000, H_{70} = -2000 \quad (25)$$

ab $t > 0$;

- ÄRB-2 – die synchrone zeitlineare H_j -Änderung $H_j = -at$ mit der Einschränkung von $H = 0.0$ ($t < 0$) bis zu den nominalen Werte (25) und den Schaltzeiten:

$$t_j = H_j/a \quad (26)$$

Aus der Schaltzeit $t = 15$ sec für $H = -4100$. = const in obigen Aufgaben nehmen wir $a = -4100/15 = -273,3$ für die Berechnungen t_{34} , t_{67} , t_{70} nach (26).

- ÄRB-3 – eine exponentielle H_j -Änderung entsprechend der Definitionsgleichung

$$dH_j/dt = (H_{jsoll} - H_j)/T, \quad (27)$$

$T = 3$ sec.

Hier erreichen die $H_j(t)$ ihre nominalen Werte gleichzeitig etwa nach $t = 15$ sec mit den verschiedenen Geschwindigkeiten der Änderungen.

4. Es sollen die folgenden dynamischen Prozesse visualisiert werden:

- $Q_{j1}(t)$ – Luftstrom im Anfang der j -Kante, die Entfernung L_j von der Druckquelle (Druck P_U in Endknoten);

- $Q_{jMj/2}(t)$ – Luftstrom in der j -Kantenmitte, die Entfernung $L_j/2$ von der Druckquelle;
- $Q_{jMj}(t)$ – Luftstrom im letzten Element der j -Kante, direkt bei der Druckquelle.

3 Die laufenden Ergebnisse

Die Implementierungsarbeiten werden unter Betreuung von Prof. Svjatnyj aufgrund der in vorigen Berichten und im Abschnitt 2 dargestellten Ergebnisse im Rahmen der Themen von Doktor- und Magisterarbeiten durchgeführt.

3.1 Die sequentiellen Kanten-, DNO1- und DNO2-Simulatoren

Die Entwicklung sequentieller Simulatoren wird als wichtige Etappe dieser Problematik betrachtet und als Teil des Themas der Doktorarbeit von Aspiranten S. Gogolenko erfüllt. Die erste Implementierungen wurden während des 1-wochigen Aufenthaltes S.Gogolenko am HLRS zusammen mit V. Svjatnyj durchgeführt. Die Experimente haben gezeigt, dass die entsprechend obigen Aufgabenstellungen entwickelten C- und C++ -Programme stabil sind und die physikalisch korrekten dynamischen Prozesse liefern. Die stationären Luftstromwerte entsprechen mit der genügenden Genauigkeit den in den Tabellen 1, 2, 3 dargestellten Testwerten. Bei den sprungweisen Änderungen der äußeren Randbedingungen entstehen die Wellenprozesse, die in einzelmem Luftweg und in den Kanten der beiden DNO ähnlich verlaufen und stabil die stationären Werten erreichen. In Abb.16 werden alle Luftströme des DNO1 (Abb.14) in den Anfangspunkten der Luftwege ($x=0$) (Graphenkanten) gezeigt. Dabei wurde die vom Ventilator erzeugte Druckdifferenz sprungweise bei $t>0$ (Abszisse) geändert. Entsprechend der Entfernung von Druckquelle entsteht die Zeitverzögerung in den Prozessen $Q(t)$ (Ordinate). Auch bekommen einige Luftströme in der Anfangsphase die negative Werte (die Stromreversierung) wegen der Wellendruckverbreitung der Kanten entlang.

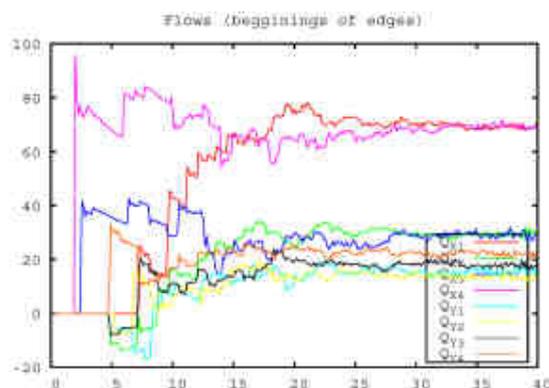


Abb.16. Dynamische $Q_j(t)$ -Prozesse in den DNO1-Kanten

Abb.17 zeigt Prozess in Y1-Kante (Abb.14) bei der nichtsprungweisen (etwa 2 sec) Änderung der Druckdifferenz. Die Druckwelle erreicht den Anfangspunkt der Y1-Kante (die Knoten U2) über Weg $X4 - Y3 - X2$ schneller, als über $X4 - X3 - Y1$, deshalb entsteht Y1-Reversierung und Prozess wird „ruhiger“ entwickelt.

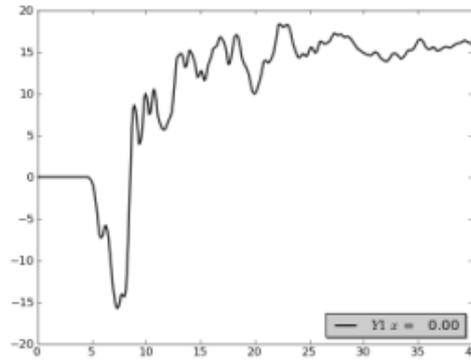


Abb.17. Prozess $Y1(t, x=0)$ bei der nichtsprungweisen Änderung von $H(t)$

Die dynamischen Prozesse in den Kanten des DNO2 werden in Abb.18 dargestellt (entsprechend der Abb.15 sind $E0=Q1$, $E1=Q2$, $E2=Q3$, $E3=Q34$). Im Simulationsexperiment werden die drei Druckdifferenzen (die Ventilatoren in den Kanten 34, 67, 70, Abb.15) erreichen gleichzeitig und sprungweise ihre nominale Werte (Tab.3). Die Schwingungen in den entfernten Kanten sind wesentlich kleiner, als im DNO1. Die Luftströme erreichen die Testwerte nach etwa 60 Sec.

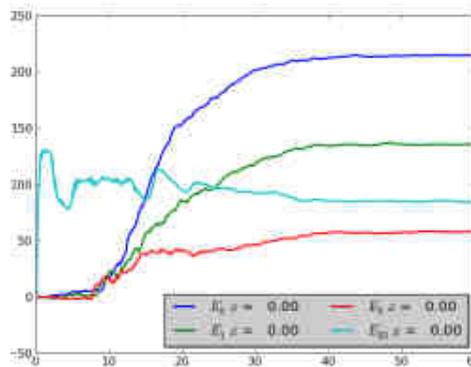


Abb.18. Dynamische Prozesse $Qj(t, x=0)$ in den Kanten des DNO2.