

## Analizo de averioj kaj konstru-katastrofoj en Pollando en la lasta jarcent-kvarono

Andrzej Kaniak

En la kontribuado *Ĉu ni konsentu surpriziĝi ?* (Sci. Rev., 1991, 42, 159) mi citis mian propran sciencajn disertacion, kiun mi deziras nun mallonge pritrakti.

La magistra disertacio titolita *Analizo de averioj kaj konstru-katastrofoj en Pollando en la lasta jarcent-kvarono 1965-1990* konsistas el statistika kaj teoria partoj, enhavas kvin ĉapitrojn kaj konkludojn.

Parto I ampleksas teorion pri la sendanĝereco de konstruaĵoj laŭ la tradicia maniero kaj enkondukon al teorio de neerareco de konstruaĵoj. Parto II pritraktas la konstruarton de loĝdomoj, la teorion de neerarecoj de aktivaj grundoj kaj fundamentado de konstruaĵoj sur terenoj, kie manifestiĝas min-ekspluatataj influoj. Parto III prezentas industrian konstruarton el armita betono kaj ŝtal-konstruarton. Parto IV enhavas hidro-konstruarton. Parto V montras novan scienco-branĉon - biocenikon.

Averio estas tia difekto de elemento de konstruaĵo, kiu kaŭzas minacon al homa vivo kaj al posedaĵo trovebla en la koncerna konstruaĵo, aŭ en ties ĉirkaŭaĵo, kaj kiu malebligas la pluan ekspluatadon de konstruaĵo.

Katastrofo estas subita detruo de konstruaĵo kun tragikaj konsekvencoj. (Plua precizigo de tiuj du konceptoj ŝajnas esti ne celhava.)

Analizon de konstru-katastrofoj unuafoje faris *Thomas H. McKaig*, kiu konsideris tragikajn konstru-eventojn okazintajn dum 1890-1960 en Usono.

Averion aŭ katastrofon povas iniciati hazardaj faktoroj, ekz. brulego, ekstreme forta vento-blovo, unufoja ondo, eksplodo, (kvazaŭ)sismaj influoj.

Surbaze de 384 kazoj, mi analizis kaŭzojn de katastrofoj en fazoj de projektado, realigado kaj ekspluatado, nome: akcepton de nekonvenaj normoj, de eraraj projektaĵoj, de neĝustaj ŝarĝoj, kalkulerarojn ktp. Sekve ankaŭ malobeon de projekto, nekompetentecon de realigantoj, mankohavan kvaliton de kunigoj, nesufiĉan reziston de betono, ŝtalo kaj

aliaj materialoj ktp. En la ekspluat-fazo mi analizis inspekto-mankon, superkreskon de ŝarĝoj, nezorgemon de konstru-ekspluatanto ktp.

La klasifiko de averioj ampleksas konstruarton de loĝ-domoj, ĝeneralan, agrikulturan, hidroteknikan kaj specialan konstruarton. Sekve mi konsideris konstru-materialojn, ekz.: briko, betono, armita betono, prem-betono, ŝtalo, ligno. Fine mi pritraktis la dividon de elemento-kompleksoj, kiuj averiigas: tegmento, arkaĵo, skeleto- kaj muro-konstruoj, fundamentoj, memstaraj konstruoj, ekz. turoj, tubkamen-fridejoj kaj aliaj konstruoj.

La histografaĵo kreita baze de detala analizo pruvas, ke kaŭzo de 109 akcidentoj estis nekonvena ekspluatado, 103 katastrofoj estis kaŭzitaj pro nepreciza realigo, kaj 36 objektoj havis averiojn pro eraraj projektaĵoj.

La analizo do devas pritaksi unuopajn etapojn de la muntado laŭ ĝia geometria neŝanĝebla. Por preventi katastrofojn oni devas fari analizon de transiraj statoj kaj projekti tiel, ke pro averio de unu konstruelemento la alia ankoraŭ povu transpreni ĝian fortostreĉon. Tiel ni evitos la t.n. progresantajn averiojn, kiam la perdo de statika ekvilibro de unu el konstru-elementoj kaŭzas ĉenan reagon kondukantan al neevitebla katastrofo de konstruaĵo.

Analizo de katastrofoj devas konsideri kaŭzojn de ĝiaj ekestoj same en aspekto de teorio pri neerareco, kiel ankaŭ pri analizo de konstru-materialoj laŭ teknika kaj ekonomia vidpunktoj.

Por prikalkuli la liman portivon de konstruaĵo oni akceptas tri kalkul-specojn de koeficientoj:

1. koeficiento de heterogeneco, aŭ redukto de material-rezisto,  $k$ ;
2. koeficiento de troŝarĝo, aŭ de ŝarĝo-kresko,  $n$ ;
3. koeficiento de laborkondiĉoj,  $m$ .

La rezervo de sendanĝereco de homogena konstru-elemento estas :

$$\sum_i n_i P_i \leq mkRF$$

kie  $P_i$  = la internaj fortoj de konstru-elemento devenantaj rezulte de diferencaj ŝarĝoj;  $F$  = geometria karakterizo de sekco;  $R$  = limo de material-rezisto.

La firmecon de konstru-elemento oni ne povas konstati apriorie. Produktante amase konstru-elementojn, oni povas prepari poliedron de frekvento informantan pri la centro de amasiĝo kaj pri la grado de disĵeto de aposteriora firmeco. Ekzistas probable-kurbo de distribuo

$f(T)$ , al kiu celas statistika poliedro de frekvento. Tamen disĵeto ne malaperos kaj la maso de probableco ne ariĝos en unu punkto. Ĉiam ekzistas finita temp-intervalo  $\Delta t$  inter la maksimuma kaj la minimuma firmecoj de  $n$  de konstru-elementoj.

Por ke la minimuma firmeco  $T_{min}$  ne estu malpli granda ol la tempo de antaŭvidita ekspluatado, la meznombra firmeco devas ĝin rimarkeble transpaŝi por la granda valoro de  $n$ . Temas pri la reduktado de firmeco de konstru-elementoj ĝis la valoro teknike argumentita, pri la pli ŝparema projektado ĉe oboe de neerareco. Tamen ne temas pri la konstanta reduktado de koeficiento de sendanĝereco, ĉar prikreskos la ofteco de averioj. Aperis la historia limo kaj ĉefaj rezervoj de sendanĝereco estas elĉerpitaj. La taskon por solvo alprenas nova scienco-branĉo - la teorio de konstru-neerareco.

Difini la optimumajn valorojn de firmeco por apartaj klasoj de konstruaĵoj kaj prognozi neerarecon, akceptante, ke oni konas distribuojn de probabloj de ĉiuj variabloj, de kiuj dependas util-kapablo kaj konkreta rezisto-problemo, estas solvata laŭ determinisma maniero. Oni ankaŭ devas solvi problemon pri difino de distribu-parametroj de ŝarĝoj, rezistivo ktp. kun la konservo de maksimuma fidindo. Tio estas la tasko de matematika statistiko. En la probablo-teorio oni opinias, ke konstru-sekureco ekzistas tiam, kiam la estimata neerareco estas tre proksima al unuo kaj nocio pri sendanĝereco koincidas kun nocio pri neerareco. Teoriaj pritraktoj koncernas senaveriajn, sekurajn statojn de konstruaĵoj; sekve mi analizis kurbojn de pludaŭro kaj de minaceblo, skalo-efikon, lokan kriterion de portivo ktp.

Konsiderante 384 averiojn kiel statistikan aron, mi konkludis, ke 1. plej grandan nombron de averioj oni notas en betonaj konstruaĵoj - sume 264 akcidentojn, el tio 116 en industriaj konstruoj kaj inter tiuj 68 koncernas turojn; 2. ĉe industriaj averioj plej granda minaco devenas de tegmentoj; 3. ĉe log-domoj la averioj koncernas en 50 % la murojn.

En Parto II mi konsideras la teorion pri neerareco rilate al aktivaj grundoj; konsekvencojn de manko de detalaj esploroj de grundo-bazoj kaj projektadon de loĝdomoj el grandplataĵoj en kvazaŭsismaj regionoj.

En pluraj regionoj de la mondo oni konstruas loĝdomojn sur kalk-argilaj grundoj. Por konstruaĵoj fundamentitaj sur la aktivaj densogrundoj, karakteriza manifestiĝo ĉe konstru-averioj estas deformoj kaj difektoj de konstruaĵoj sekve de neregulaj formodifektoj de ŝvelantaj kaj malŝvelantaj, periode aktivaj kalk-argiloj. En filtropovaj grundotavoloj la alta grundakvo-nivelo kaŭzas malgrandigon de streĉoj en grundo-skeleto, kaŭzitaj pro akvo-forpuŝo. Kaze de nestabila akvo-nivelo, dum supren- kaj malsupren-leviĝoj de la akvo, aperas kromaj

difuzaj fortoj, agantaj kvazaŭnivelen. Ŝanĝo de forto-strukturo pro malfavora grundo-konsisto, povas konduki al ŝanceliĝo de grundo-statika ekvilibro kaj sekve al katastrofo.

En Parto III mi konsideras mekanismon de ekesto de difektoj sub influo de atmosferaj faktoroj. Korodado de betono kaj ŝtalo estas plej ofte kaŭzita pro reakcio de precipitaĵ-akvoj kun malgranda malmoleco, nehavantajn kalciajn salojn; kresko de poreco pro "forlesivado", formiĝo de solveblaj kemiaj kombinaĵoj. Agresivo de molaj akvoj pligrandiĝas ĉe pli malaltaj temperaturoj ĉar la solveblo de kalciaj saloj estas tiam pli granda. La poreco de betono kondukas al korodado de armita ŝtalo, kaj tio al la loka perdo de statika ekvilibro kaj sekve al konstru-katastrofo. Tiu problemo koncernas ĉefe tubkamen-fridejojn kaj kamentubojn.

En siloj la danĝero de katastrofo troviĝas en la eblo de eksplodo de gren-pulvoro. Premo ekestanta en silo dum la eksplodo povas superi la premon ekestanta sub similaj kondiĉoj en gas-eksplodo. Principa regulo de efika antaŭzorgo kontraŭ eksplodoj estas celadi ke simultane ne ekestu en la sama tempo kaj loko tri faktoroj necesaj por pulvor-eksplodo, nome 1. ekzisto de miksaĵo pulvoro-aero; 2. ekbrulo; 3. limigita spaco. Do oni devas uzi maldensigan aeron en la maso de moviĝantaj grajnoj per la neŭtrala gaso, kiun oni povas pumpi de silo-malsupro en la komenca momento de plenigado. Aliaj efikaj metodoj: kontrolo de humideco, instalado de avert-sistemo pri lokoj de altaj temperaturoj, apliko de damp-eksplodaj mekanismoj, kiuj povas trovi komencan bat-ondon kaj enpremi al la flamo kemiajn likvojn estingantajn, dampadante ĝin dum milonoj da sekundo antaŭ la eksplodo.

Sendanĝera ekspluatado de kamentuboj ligiĝas kun ĝustatempa analizo de ties konstruaĵo. La diagnozo ampleksas ne-detruajn rezist-esplorojn de la beton-homogeneco. Aktuale oni aplikas metodojn de termoviziaj esploroj, kiuj informas pri la teknika stato de kamentubo surbaze de temperatur-distribuo sur la surfaco de la konstruaĵo. Ŝanĝoj en temperaturo kaŭzas strukturajn ŝanĝojn en la beton-maso, kiuj kondukas al grandaj interstreĉoj, kaj tio - laŭvice - , pro diferencoj en termo-dilatiĝo de la beton-komponaĵoj, kaŭzas fendetojn de la supraj tavoloj de betono.

Akceptitaj koeficientoj de sendanĝereco malaltiĝas en malfacile pritaksebla maniero kaj la elemento, aŭ tutaj konstruaĵoj, transformiĝas en antaŭ-averian staton aŭ sekvas katastrofo.

Kaze de ŝtalonkonstru-arto - krom multaj rimarkoj pri realigado - mi tuŝis la problemon de interkristala korodado. Ĝi ofte manifestiĝas ĉe

kunagado de grandaj ŝir-streĉoj, t.n. streĉ-korodo, kiu kondukas al apero de mikro-fendetoj (t.e. oni ne povas vidi ilin per nudaj okuloj). Tiuj mikro-fendetoj progresas laŭ nekontrolebla maniero kun pli kaj pli granda rapido kaj tiu komplika procezo kaŭzas la rompiĝon de elementoj sen ajna antaŭ-averia simptomo, kiam la sumo de streĉoj submetitaj al ŝarĝoj kaj la propraj streĉoj pro la korodo transpaŝas la rezistokapablon de la materialoj.

Eblas situacio, kiam interkristala korodo, rezulte de specifaj kondiĉoj en la agresiva medio, disvastiĝas en la ŝtala konstruo kaj kondukas al minaco de sendanĝereco sendepende de tio, ĉu iu ajn elementoj submetiĝis jam al rompiĝo aŭ ne.

Averioj de ŝtalaj kamentuboj regule komenciĝas sekve de loka perdo de statika ekvilibro. Tio estas rezulto de tro maldika lado, metal-korodo, ekestantaj ekscentrikaj.

Parto IV prezentas rimarkojn koncernantaj la hidro-konstruaĵojn kaj kaŭzojn de iliaj averioj. La ĉefa kaŭzo estas la alta kaj forta ondo. La model-esploroj de altaj ondoj permesas simuli konvenajn spektrojn kaj difini la ondo-forton. Tiu forto dependas de la ondo-periodo, akvo-profundo apud la ondo-rompilo kaj de ties klino. Dors-ondo proksimiĝante al la bordo deformiĝas ĝis la rompiĝo, kiun akompanas loka energi-kresko. Katastrofa energi-koncentro, pro la romp-ondo, traŝoviĝas laŭlonge de ondo-rompilo. La probablon de detruo de ondo-rompilo oni pritaksas surbaze de probable de apero de la plej alta ondo kaj la plej longa periodo por la stato de maro, karakteriziĝanta per la sekvaj parametroj:  $H_d$  - alto de danĝera ondo;  $T$  - averaga periodo de ondado;  $t_d$  - daŭro de esplorata stato de maro.

#### Parto V - bioceniko.

La sendanĝereco de konstruaĵoj estas parto de konstru-arto kaj rilataj soci-ekonomiaj fenomenoj. La maksimumigo de sendanĝereco per minimumigo de risko - tio estas la devizo de interfaka, nova scienco-branĉo: bioceniko. Ĝi sintezas bioteknikajn faktorojn kaj parametrojn formantajn uz-kvaliton kaj konsideras klimatajn kondiĉojn en ĉiu skalo de konstru-arto.

La kaŭzoj de averioj estas ankaŭ ekstere, ekz. en Pollando oni kolportis inĝenierajn tabelojn el Sovetunio havantaj celajn erarojn, nome: tie, kie statikaj kondiĉoj postulis apliki armitan ŝtalon malpli multe, la koeficientoj indikis ties kreskon; male, tie, kie statikaj kondiĉoj postulis apliki armitan ŝtalon pli multe, la koeficientoj indikis ties malkreskon. Unuflanke tio kaŭzis perdon de materialo, aliflanke kondukis al katastrofo.

En Pollando en la 80-aj jaroj oni likvidis konstru-inspektion kaj cele oni inklinis al rango-degrado de konstruistoj, kaj oni ĉiam klopodis enmiksi en averiojn aŭ katastrofojn la projektistojn kaj konstru-vidantojn. Mia analizo montras, ke kulpantoj estas konstru-ekspluatantoj kaj -laboristoj - ĉiu po 30 %.

Mi supozas, ke dum la proksimaj jarcent-kvaronoj en Pollando ni restos analizantaj sole la kondiĉojn el la vidpunkto de matematika statistiko de maksimuma fido-nivelo.