

REPÜLŐTÉRI FÖLDMUNKÁK ÉS PÁLYASZERKEZETEK GÉPI SZÁMÍTÁSA

A repülőtér-tervezést az egyedi nemzeti szabályozások helyett egyre inkább a nemzetközi ajánlások alkalmazása jellemzi, s a bizonytalanságok leküzdésében különböző nemzetközi kiadványokból megismerhető tervezési gyakorlat nyújt segítséget. Mindezekben azonban a repülőtér-tervezésnek a számítástechnika területén eddig elért eredményeiről viszonylag kevés publikációhoz juthatunk hozzá, ám exporttervezéseink és konzultációink során megállapíthattuk, hogy a tervezői gyakorlatban általában a hagyományos módszereket alkalmazzák.

A légi közlekedésnek, mint a legdinamikusabban fejlődő közlekedési ágazatnak ez a kétségtelen ellentmondása azzal magyarázható, hogy az egyedi és viszonylag kis számú feladatok nem nyújtanak kellő ösztönzést a korszerű tervezői gyakorlat bevezetésére, s a számítástechnika itteni felhasználása nem gyorsítja fel a tervezési folyamatot, előnyei kizárólag a munka minőségét javítják — persze ez sem kevés!

A repülőtéri pályák építésének költségeit elsődlegesen a földmunkák és pályaszerkezetek építési munkái növelik, ezért itt kezdjük a számítógépeket alkalmazni.

A földmunkák számítógépes tervezését saját fejlesztéssel, a betonburkolatok méretezését az amerikai Portland Cement Association, az aszfaltburkolatok méretezését pedig az ugyancsak amerikai Asphalt Institute programjának adaptálásával kezdtük. (Érdekeségként hívjuk fel a figyelmet arra, hogy az átvett két programot kifejlesztő intézet érdekeltsége a cement-, illetve a bitumenfelhasználás fokozásában volt, fejlesztési tevékenységük azt szolgálta, hogy a pályaszerkezet-optimumok ki-munkálásával a beton és az aszfalt versenyét a saját javukra döntsek el.)

FÖLDMUNKATERVEZÉS

Az UVATERV-nél kidolgozott programrendszer a tervezés számára szükséges terepadatok előállításától a terv dokumentálásáig illeszkedik a tervezés technológiai sorába. Ehhez négy programot dolgoztunk ki: terep- és pályaadat, a földtömegszámító és -tömegelosztó, valamint rajzolóprogramot. A következőkben ezeket ismer-tjük.

Terepadat-program

A rendezendő terep magasságadatait — az erre a célra készített számítógépes szintezési jegyzőkönyvek alapján — gépi úton, négyzethálósan, vagy keresztiszelvényként hagyományos módon számolva kell megadni.

A terepadat-program a területre fektetett tetszőleges négyzetháló rácspontjainak magasságait, megfelelő helyszínrajzi rendszerben, adatszalagon (terepadat-file-on) rögzíti.

Pályaadat-program

A terepadat-programnál alkalmazott helyszínrajzi négyzethálós rendszerhez illeszkedve a pályaadat-program az adatlapokról beolvassa és összehasonlíja a pályaadatokat.

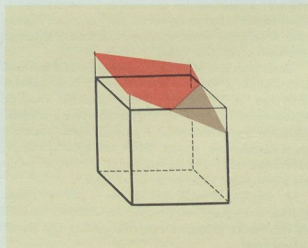
A pályaadatokat a tervező a pályasíkok keresztiszelvényekénti lejtéseivel és töréspontjainak vízszintes és magassági koordinátaival adja meg. A megadott pályasíkpontok közötti négyzet rácspontra minden terepadathoz a gép számol pályasíkadatot. A tervezői utasításnak megfelelően ugyancsak ez a program korrigálja a korábban megadott pályasíkokat, ha töltés-bevágás egyenleget szolgáló tereprendezésre van szükség; ilyenkor az eredeti pályarendszer önmagával párhuzamos emelését, illetve süllyesztését végzi a program.

Az ellenőrzött és szükség szerint módosított pályaadatokról, valamint a terepadat-program futási eredményéről adat-file készül.

Földtömegszámító és -tömegelosztó program

Az elemi négyzethálók csomópontjaiban megadott terep- és pályamagasságok alapján az ezeken a négyzethálókön elvégzendő földmunkamennyiséget számítják a

1. ábra. Elemi földtömeg-test



program és itt számítja a töltések—bevágások átmeneteinek (nullvonalainak) koordinátáit is. A program az elemi földtömegeket keresztiszelvényenként és az egész területre göngyöltve, „töltés” és „bevágás” bontásban összegzi.

A tömegelosztó program a töltések és a bevágások tömegét optimális szállítási költséggel osztja el.

A nullvonalak koordinátáiról és a tömegelosztás eredményeiről a rajzolóprogram számára adatszalg készül.

Rajzolóprogram

A tervező kívánására tetszőleges léptékben gépi rajz készül a rendezendő terület határainak, továbbá a nullvonalak és a szektorbeosztás feltüntetésével; szektoronként a rajzoló gép tünteti fel az egyes töltés- és bevágás-mennyiségeket.

Számítási módszerek

Pályasik-optimalizálás

Optimalizálás alatt itt olyan pályasik-korrektciót értünk, amely földmunkaegyenletet teremt. A program a magasági korrekció értékét a terep- és a pályamagasságok különbségéből közelítő földmunkaszámítással állapítja meg, szükség szerinti ismétléssel; az optimumkeresés ismételt lépéseit az 1 cm-es pályaszint-korrektcióig vagy az előre megadott maximális iterációs lépésszámig végzi.

Földtömegszámítás

Az alkalmazott számítási módszer a vonalas létesítmények tömegszámítási elvétől eltérően nem a szelvények területmeghatározására épül, a földtömegeket a négyzet-hálókön elhelyezkedő elemi tömegekből — hasábok és torz ékek köbtartalmaiként — számítja (1. ábra). A módszer szerint kiválasztunk a hálóból egy elemet, amelynek csomópontjait (i, j) ; $(i+1, j)$; $(i, j+1)$; $(i+1, j+1)$ indexekkel jelöljük. Az elemi tömegeket egyértelműen meghatározzák a téglalap koordinátái, a terep magasságai, valamint a pályasik két szomszédos keresztiszelvényenkénti metszeteiben az egyenesek iránytangensei és állandói. A számítás során a tereppontok között a terepet lineárisan közelítjük.

A számítás első lépésében meghatározzuk a nullvonal koordinátáit a keresztiszelvények és a hossz-szelvény irányában. A pályasik és a terep metszési viszonyai különbözőek lehetnek, így (figyelembe véve a számítás-technikai szempontokat is) a program nyolc alapesetet megkülönböztetve számol elemi térfogatokat. Elvileg ezek közül négy eset azonos, mert a közelítés módja két háromoldalú hasáb és egy csónka gúla.

A számítást a másik két esetben a gép két csónka gúlával, a harmadik esetben két háromoldalú hasábbal és két csónka gúlával, a negyedik esetben egy csónka gúlával végzi.

A töltés, illetve a bevágás mennyiségét a terep adataiból számított közelítő test (hasáb vagy gúla) és a pályasik adataiból számított közelítő test köbtartalmainak különbsége adja.

Tömegelosztás

A tereprendezéshez, illetve a szállítási feladathoz szállítási költségként a szektorok geometriai középpontjainak távolságától függő lépcsős függvény költségelemait veszük figyelembe. Ez az EKN tételei alapján állítható elő, és tartalmazza a földfejtés költségeit is.

A számítás során először a szektoron belüli szállításokat állapítjuk meg; egységkötséget a tervező ad a szektor nagysága alapján. (A szektoron belül kiegyenlíthető tömegeket az eredménylapon összesítve kell feltüntetni.)

A szektorokon belül ki nem egyenlíthető földmunka-mennyiségeket a szállítási feladat célfüggvény-minimuma alapján a program osztja el, és a szektorok megjelölésével, a szállítási távolság, az egységár, a földtömeg és a teljes szállítási költség feltüntetésével az eredménylapon megjeleníti. A területen ki nem egyenlíthető (vagy a tervező által megjelölt módon különválasztott) szállítások szintén külön jelennek meg az eredménylapon, szállítási távolság és egységár feltüntetésével. A tervező a helyi körülmények alapján (vagyis az anyaggyerőhely, illetve a depónia ismeretében) állapítja meg a költségeket. A földtömegek elosztásánál szereplő elemi egységeket szektoroknak nevezzük, ezek felelnek meg azoknak a részterületeknek, ahová szállítunk (töltés), vagy ahonnan szállítunk (bevágás). Szektor lehet a tömegszámítás elemi négyzete vagy az azokból össze-rakott nagyobb négyzet. A szektor nagyságát a feladattól adódó felbontásigény és a számítógép memóriakorlátja határozza meg. A tervezőnek a szektor oldalhosszát kell megadnia, a szektorbeosztást a program illeszti a területre. Feladóhelyként az a szektor jöhet számításba, ahol bevágásmennyiségek; felvevőhelyként pedig, ahol töltésmennyiségek mutatkoznak a szektoron belüli kiegyenlítés után.

A feladó-, illetve felvevőhelyek kapacitásösszeg-egyenlőségét úgy teremtjük meg, hogy szükség szerint nulla szállítási költséggel külső szállítást veszünk figyelembe, az anyaggyerőhelyről vagy a depóniába irányuló földszállítással. (Meg kell jegyeznünk, hogy a programtól a tervező kérheti bizonyos szállítási távolságot meghaladó távolság esetén külső szállítási figyelembevételét. A gyakorlatban ilyen módszerrel gazdaságos megoldások érhetők el, vagy legalábbis lehetőség van annak mérlegelésére.)

A tervezéstechnológiai sor és a program kapcsolata

A matematikai modell alapján látható: a program használatának alapvető feltétele, hogy a terepadatok derékszögű hálózatban adjuk meg, a terepfelvételt ezért cél-szerű négyzethálós módszerrel végezzük. Tachimetrikus

felvétel alapján készített rétegvonalas térképre illesztett négyzethálót szintén előállíthatók az alapadatok, amennyiben ez a pontosság megfelelő. A négyzetháló szintezéssel végzett terepfelvétel szintezési jegyzőkönyveit lehet a program alkalmazásával a legcélsebben használni. A program szintezési hibaelőzést is végez, keresztzelvényként átrendezi és kiírja a terepmagasságokat. Keresztzelvényes adatmegadás esetén a terepmagasságokat hagyományos módszerrel kell számolni.

A pályasíkok kiválasztása és magassági elhelyezése a tervező feladata; a földtömegszámítást a program ennek megfelelően végzi el, feltüntetve keresztzelvényként is a tömegeket. A kapott eredmények alapján az esetleg szükséges pályakorrekciók több módon hajthatók végre, a tervező utasításának megfelelően az egész pályarendszer adott értékkel emelhető vagy süllyeszthető, a lejtéviszonyok változtathatók. A beavatkozást szelvényhatárok közé is lehet szorítani. A program kívánságra a töltés-bevágás egyenleget megteremtő pályaelrendezést maga is megkérési.

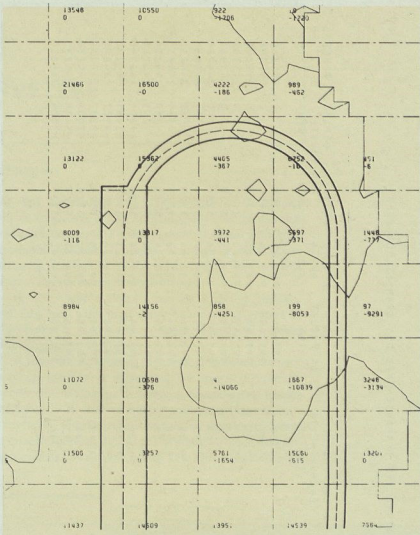
A tömegelosztás számítógépes tervezésével több variáns is készíthető. A területen belül kiegyenlíthető földtömegek elosztását a program a megadott egységárok alapján végzi el. Lehetőség van itt is a tervezői beavatkozásra oly módon, hogy a területen belüli mozgások célszerűnek tartott legnagyobb távolságot meghatározva további egységárokra a program számára nem adunk meg. Ebben az esetben optimális szállítási költségekkel a program kijelöli az ezen a távolságon belüli tömegmozgásokat. A fennmaradó töltéseket külső anyagnyerőhelyről, a bevágásokat külső depóniahelyre feltételezi a program, vagyis lehetőséget ad a tervező számára a környező adottságok figyelembevételével a leggazdaságosabban megoldás megkeresésére.

A számítógépes tereprendezési program felhasználásával tervezte meg az UVATERV a Ferihegyi repülőtér II. futópályája és gurulóútjai földmunkáit. A ferihegyi tereprendezési munkák mintegy 500 hektáron 2,2 millió m³ földmunkát jelentettek.

A terepfelvétel 20X20 m-es hálózatban készült, ennek megfelelően a tervezett tereprendezés szintjeit is 20X20 m-es hálózatban, gépi úton határozták meg. A földtömegek elhelyezkedését és az elosztás optimumát a számítógép rajzon is megjelenítette, 100X100 m-es hálózati egységekre bontva a területet. A kivitelezés során a számítógépes utasításokat betarthaták; a számított földtömegek és elosztási módjuk megfelel a végrehajtott munkáknak.

Hasonló módon tervezték meg az algériai Tiaret város nemzetközi repülőtérének földmunkáit is. Érdekesége a program mérnöki felhasználási módszerének, hogy ebben az esetben a földmunkák szállítási távolság szerint változó kivitelezési egységárait a 0–20 m-es mozgatható viszonyított virtuális árákkal adtuk meg. Ezáltal az optimumfeladat meghatározóttá vált, ugyanakkor a kivitelezés ajánlattevőjét nem befolyásolták konkrét egységárak.

A tiareti repülőtér földmunkái mintegy 1,0 millió m³-t tettek ki. Az elkészített francia nyelvű számítógépes dokumentációt nemzetközi tenderen csaknem 50 külföldi kivitelező vállalat ismerte meg.



2. ábra. A földtömeg-elosztás gépi rajza a Ferihegyi repülőtér tervéből

A 2. ábra a Ferihegyi repülőtér tervéből egy földtömeg-elosztást ábrázoló tervlapot, a 3. ábra pedig egy francia nyelvű eredménylapot mutat be.

BETONBURKOLATOK MÉRETEZÉSE

A különleges járműterhelésű betonburkolatok méretezéséhez kidolgozott program a rugalmaslemez-elmélet lemezközép-teherállásával számol, és a hagyományos nyomatek számolási módszerekhez hasonlóan, de általánosabban alakban keresi a legnagyobb hajlítónyomaték helyét, nagyságát, irányát. Meghatározza – a futómű helyzetének változtatásával – a maximális hajlítónyomatékok, és kiszámítja a keletkező feszültséget. Az eredménylapon a felsorolt értéken túl az elméleti egyenértékű egykerékterhelés és a repülőgépek osztályozási száma (LCN) is megtalálható.

A számítógépes program alkalmas tetszőleges kerék-elrendezésű járművek keltette hajlító–húzó feszültség meghatározására is. A méretezés pl. nagy rakásúly tehergépkocsik számára épített különleges ipari utakra is elvégezhető, hiszen a burkolatra jutó terhelés érintkezési pontjainak száma 25-ig növelhető.

MAILLE	COORDONNEES DE LA LIGNE ZERO			HAUTEUR DES TERRASSEMENTS			C O T E S DE PROJET			REMBLAI PAR PROFIL (M3)	DERLAI AU PROFIL (M3)	RENTLAI AU (M3)
	X	Y	Z	X	Y	Z	(M)	(M)	(M)			
G	3340	0	0	0	0,00	0,00	0,89,94	0,89,94	0	308	0	241210
H	3340	68	0	1,61	0,05	0,05	0,91,05	0,91,05	0	996	0	241898
I	3340	750	0	1,84	0,40	0,40	0,91,40	0,91,40	1746	0	242648	
J	3340	715	0	1,79	0,19	0,19	0,91,59	0,91,59	0,89,80	1746	0	243363
K	3340	57	0	1,73	0,05	0,05	0,91,78	0,91,78	0,90,05	3019	0	243920
L	3300	266	0	1,09	0,08	0,08	0,91,97	0,91,97	0,90,88	3285	0	244186
M	3300	44	0	0,30	0,00	0,00	0,92,17	0,92,17	0,91,87	3329	-2	244230
N	3300	0	0	-0,08	0,08	0,08	0,92,36	0,92,36	0,92,44	3329	-187	244230
O	3340	0	0	-1,47	0,05	0,05	0,92,55	0,92,55	0,93,02	3329	-181	244230
P	3340	0	0	-1,50	0,24	0,24	0,92,74	0,92,74	0,93,24	3329	-388	244230
Q	3340	0	0	-0,93	0,64	0,64	0,93,64	0,93,64	0,93,69	3329	-745	244230
R	3340	0	0	-1,20	0,28	0,28	0,93,88	0,93,88	0,93,88	3329	-1201	244230
S	3340	0	0	-1,38	0,03	0,03	0,94,03	0,94,03	0,94,03	3329	-1281	244230
T	3340	0	0	-1,28	0,28	0,28	0,92,78	0,92,78	0,94,06	3329	-2127	244230
U	3340	0	0	-1,18	0,91	0,91	0,92,91	0,92,91	0,94,10	3329	-2327	244230
V	3340	0	0	-0,81	1,05	1,05	0,93,05	0,93,05	0,94,10	3329	-2909	244230
W	3340	0	0	-0,79	1,13	1,13	0,93,18	0,93,18	0,94,31	3329	-3488	244230
X	3340	0	0	-0,60	0,40	0,40	0,93,80	0,93,80	0,94,40	3329	-3874	244230
				0,00	0,27	0,27	0,94,27	0,94,27				

3. ábra. A földtömeg-elosztás és a kiegészítő sík számításának egyik eredményitáblázata a tiareti repülőtér terveihez

A korábban alkalmazott numerikus és grafikus méretezési eljárások megoldásai közelítő jellegűek voltak, a kerékcsoportokból álló futóművek terhelését ugyanis elképzelt elméleti egykerékű egyszerűsítve számítottuk. Erre azért volt szükség, mert a hagyományos eljárásoknak csak ilyen egyszerűsítéssel lehetett alkalmazni. Kétségtelen, hogy az elméleti egykerékterhelés a tényleges kerékcsoporttal azonos feszültségállapotot hoz létre, megállapítására azonban grafikus eljárások adnak – közelebbről pontossággal – lehetőséget. Az is nyilvánvaló, hogy a hagyományos méretezési módszerek nagy mennyiségű számítási feladata nem tette lehetővé az aléptényez és a burkolatminőségnek előforduló összes változat technológiai és költségvetésének alapos elemzését.

A számítógépes eljárás hazai bevezetésével lehetővé vált a tényleges terhelési elrendezéssel, az anyagok változó fizikai tulajdonságainak nagyszámú változata mellett optimális pályaszervezet méretezése.

ASZFALTBURKOLATOK MÉRETEZÉSE

Az aszfaltburkolatokat a hőmérséklet, a tervezett repülőgép-forgalom és annak megoszlása, az altalaj teherbírása alapján kell méretezni, burkolatmegerősítésnél a meglévő pályaszervezetet kell figyelembe venni.

A számítógépprogram a repülőtéri aszfaltburkolatok méretezésének legkorszerűbb szempontjait követve a futóműáthaladások normáleoelozlása szerint számolja az igénybevételek keresztirányú változásait; a különböző repülőgéptípusok terhelését DC-8-63 típusú „egység-repülőgépre” adja meg. Az eredményekből az igénybevételek részletesen elemezhetők, hiszen a program a kritikus húzó igénybevételt az aszfalttréteg alsó síkjában és a kritikus nyomó igénybevételt az altalaj tetején, különböző mélységekben is megadja. A tervezési időszak mérlegelésére is lehetőséget nyújtanak az eredmények azzal, hogy a forgalom harmincéves maximális tervezési időszakára ötvenes periódusonként kiírja a szükséges burkolatvastagságok változásait.

Az Asphalt Institute módszere „teljes aszfalt” burkolatra vonatkozik, a szerkezeti rétegeket a tervező gyakorlati megfontolások alapján választja meg.

Tervezési feladatainkban minden esetben a bemutatott eljárásokat alkalmazzuk. Földmunkaterveink formai megjelenése teljesen eltér a hagyományostól: kereszt-szelvények ábrázolása nélküli numerikus adatsor rögzíti a szükséges földmunka mennyiségét.

A sokoldalú vizsgálat dokumentálására a jól ismert formulák helyébe a pályaszervezetek méretezésénél is táblázatosan kiadott eredményesorok kerülnek.

A hagyományostól eltérő, új „kiállítású” tervek a kivitelezési munkáknál jól beváltak és az építési költségeket is kedvezően változtatták meg. Újszerű tervezési gyakorlatunk a tervezési ajánlatokban is előnyös, ezt bizonyítja, hogy az egyik repülőtér-tervezési export-megbízásunkat éppen e módszernek köszönhetjük.