

MINTA A TÖMÖRSÉGMÉRÉS MÉRÉSI PONTOSSÁGÁNAK MEGHATÁROZÁSA

Basic Theory of BC- Part7

Subert-Phong

Mérés helye: M6-os autópálya építés Porr Építési Kft. kivitelezési szakaszán (76+200 – 109+700 kmsz) próbatömörítés

M6-os 78 + 100 km szelvényében történő próbatömörítés 2008-11-06-án

Laboratórium: INNOVIA Kft

Talaj: 25 cm rétegen: Homokos kavics

A. IZOTÓPOS TÖMÖRSÉGMÉRÉS (ÚT 2-3.103)

A tömörségmérés pontosságának meghatározása a próbabeépítés része, melyet az ÚT2-1.222:2007 ÚME előír, Mérnök pedig ennek meghatározását kérte. A próba-beépítés kialakított szakasza mellett, a tömörítés szempontjából lényegtelen helyen egy szondalyukat kialakítva, a meghatározás módszere a következő. A műszert elhelyezve a szondát 20cm-re le kell engedni. Tetszőleges irányban, tetszőleges mértékben elforgatva, egy sorozatban 21 mérést kell végezni és leolvasni a nedves térfogatsűrűséget (ρ_n), valamint az ehhez tartozó víztartalmat ($w\%$).

A kapott eredményből kiszámítjuk az alap sokaság statisztikai jellemzőit (átlag, szórás, maximum, minimum), amely az 1. táblázatban látható

Ssz	w%	ρ_n	Ssz,	w%	ρ_n
1	8,15	1,982	11	7,38	2,041
2	8,06	2,029	12	7,12	2,05
3	6,52	2,047	13	10,68	2,037
4	7,61	2,038	14	6,25	2,028
5	8,64	2,027	15	9,49	1,996
6	7,36	2,046	16	7,96	1,992
7	8,21	1,986	17	9,81	2,01
8	7,51	1,990	18	7,60	2,024
9	8,48	2,011	19	9,53	2,048
10	8,33	1,995	20	8,26	2,061
			21	7,78	2,033
			átlag	8,13	2,022
			max	10,68	2,061
			min	6,25	1,982
			szórás	1,07	0,024

1. táblázat: a mért adatok alapsokaság-jellemzői

A kapott eredményből hármass mozgóátlagot képezzük, így 19 db hármass mért értéket kapunk. Mindegyik csoport-eredményből kiszámítjuk az alap sokaság statisztikai jellemzőit (átlag, szórás).

A mérés hibáját 90%-os megbízhatósággal, a kis mintaszámú statisztikai elemzéshez használatos Student-féle eloszlással (sűrűsége és víztartalomra egyaránt) a következő képlettel számítjuk:

$$\Delta = \pm \frac{t \times S}{\sqrt{n}}$$

ahol:

S = a mérési sokaság alapszórása

$n=3$, mert egy izotópos mérést három különböző irányban mért véletlenszerű részeredményből átlagolunk. Ez a jelenlegi feldolgozásban hármass mozgóátlag.

$t = 2,92$ Student-féle tényező ($v=(n-1)=2$ szabadságfok és $\alpha = 0,1$ szignifikancia-szint mellett)

A fenti képlet felhasználásával kiszámítjuk a víztartalom és a nedves sűrűség egyes hármass eredmény-csoportjának a hibáját (Δw és $\Delta \rho_n$), amely a 2. táblázatban látható:

w						ρ_n					
		Átlag	szórás	Δw				Átlag	szórás	$\Delta \rho_n$	
8,15	8,06	6,52	7,58	0,92	1,54	1,982	2,029	2,047	2,019	0,03	0,06
8,06	6,52	7,61	7,40	0,65	1,09	2,029	2,047	2,038	2,038	0,01	0,02
6,52	7,61	8,64	7,59	0,87	1,46	2,047	2,038	2,027	2,037	0,01	0,02
7,61	8,64	7,36	7,87	0,55	0,93	2,038	2,027	2,046	2,037	0,01	0,02
8,64	7,36	8,21	8,07	0,53	0,90	2,027	2,046	1,986	2,020	0,03	0,05
7,36	8,21	7,51	7,69	0,37	0,62	2,046	1,986	1,990	2,007	0,03	0,06
8,21	7,51	8,48	8,07	0,41	0,69	1,986	1,990	2,011	1,996	0,01	0,02
7,51	8,48	8,33	8,11	0,43	0,72	1,990	2,011	1,995	1,999	0,01	0,02
8,48	8,33	7,38	8,06	0,49	0,82	2,011	1,995	2,041	2,016	0,02	0,04
8,33	7,38	7,12	7,61	0,52	0,88	1,995	2,041	2,050	2,029	0,03	0,05
7,38	7,12	10,68	8,39	1,62	2,73	2,041	2,050	2,037	2,043	0,01	0,01
7,12	10,68	6,25	8,02	1,92	3,23	2,050	2,037	2,028	2,038	0,01	0,02
10,68	6,25	9,49	8,81	1,87	3,16	2,037	2,028	1,996	2,020	0,02	0,04
6,25	9,49	7,96	7,90	1,32	2,23	2,028	1,996	1,992	2,005	0,02	0,03
9,49	7,96	9,81	9,09	0,81	1,36	1,996	1,992	2,010	1,999	0,01	0,02
7,96	9,81	7,60	8,46	0,97	1,63	1,992	2,010	2,024	2,009	0,02	0,03
9,81	7,60	9,53	8,98	0,98	1,66	2,010	2,024	2,048	2,027	0,02	0,03
7,60	9,53	8,26	8,46	0,80	1,35	2,024	2,048	2,061	2,044	0,02	0,03
9,53	8,26	7,78	8,52	0,74	1,24	2,048	2,061	2,033	2,047	0,01	0,02
szórás		0,49				szórás		0,02			
átlag		8,14				átlag		2,02			
max		9,09				max		2,05			
min		7,40				min		2,00			

2. táblázat: a víztartalom és nedves sűrűség alapsokaság-jellemzői, hibája

Az egyes részeredményhez kiszámítjuk a ρ_{nmin} , ρ_{nmax} és $w_{min}\%$, $w_{max}\%$ értékeit (3. táblázat). $\rho_{nmin} = \rho_{\text{átlag}} - \Delta\rho_n$, $\rho_{nmax} = \rho_{\text{átlag}} + \Delta\rho_n$, $w_{min}\% = w_{\text{átlag}}\% - \Delta w\%$, $w_{max}\% = w_{\text{átlag}}\% + \Delta w\%$

w_{max}	w_{min}	ρ_{nmax}	ρ_{nmin}
9,12	6,03	2,08	1,96
8,49	6,31	2,05	2,02
9,05	6,13	2,05	2,02
8,80	6,94	2,05	2,02
8,97	7,17	2,07	1,97
8,32	7,07	2,06	1,95
8,76	7,38	2,02	1,97
8,83	7,39	2,02	1,98
8,88	7,24	2,06	1,98
8,49	6,73	2,08	1,98
11,13	5,66	2,05	2,03
11,25	4,79	2,06	2,02
11,96	5,65	2,06	1,98
10,13	5,67	2,04	1,97
10,45	7,73	2,02	1,98
10,09	6,82	2,04	1,98
10,64	7,32	2,06	1,99
9,81	7,11	2,08	2,01
9,77	7,28	2,07	2,02

3. táblázat

ρ_d			
1,902	1,851	1,799	1,958
1,888	1,907	1,860	1,936
1,878	1,910	1,847	1,942
1,883	1,894	1,854	1,924
1,897	1,840	1,803	1,936
1,903	1,824	1,799	1,930
1,853	1,840	1,812	1,882
1,851	1,847	1,817	1,881
1,884	1,846	1,812	1,920
1,912	1,858	1,821	1,951
1,838	1,934	1,818	1,955
1,837	1,941	1,804	1,977
1,825	1,891	1,761	1,960
1,843	1,875	1,783	1,938
1,820	1,846	1,791	1,876
1,843	1,861	1,794	1,912
1,855	1,865	1,797	1,926
1,885	1,884	1,828	1,944
1,882	1,891	1,839	1,935

szórás	0,05
átlag	1,87
max	1,98
min	1,76

4. táblázat: számított száraz sűrűség variációi

A kapott két nedves sűrűség és két víztartalom variálásával négy száraz sűrűséget a következő ismert (és általában használatos) képletből számítunk, a lehetséges véletlenszerű kialakulást elemezve.

$$\rho_{di} = \frac{\rho_{ni}}{(1 + w_i \%)}$$

A 4. táblázat tartalmazza a kiszámított száraz sűrűségek variációit.

A.1. Vizsgálati pontosság a Proctor-vizsgálat hibája nélkül

A kapott száraz sűrűségeket egyenként jelenlegi anyag legnagyobb száraz sűrűségéhez, mint a viszonyítási sűrűséghez (ρ_{dmax} A.2. pont szerint) viszonyítjuk százalékosan. Ebből (lásd 5. táblázat) meghatározzuk a terjedelem felét, mely a számított vizsgálati pontosság a legnagyobb száraz sűrűség mérési hibájának figyelembe vétele nélkül.

Trg			
93%	90%	88%	96%
92%	93%	91%	94%
92%	93%	90%	95%
92%	92%	90%	94%
93%	90%	88%	94%
93%	89%	88%	94%
90%	90%	88%	92%
90%	90%	89%	92%
92%	90%	88%	94%
93%	91%	89%	95%
90%	94%	89%	95%
90%	95%	88%	96%
89%	92%	86%	96%
90%	91%	87%	95%
89%	90%	87%	92%
90%	91%	88%	93%
91%	91%	88%	94%
92%	92%	89%	95%
92%	92%	90%	94%
átlag		91%	
max		96%	
min		86%	
$\Delta/2$		5,3%	

5. táblázat: tömörségi fok értékei

A vizsgálati pontosság a Proctor-vizsgálat hatása nélkül: $\pm 5,3 T_{rg}\%$ a $p = 90\%$ -os valószínűségi szinten

A.2. Vizsgálati pontosság számítása a Proctor-vizsgálat hatásával

Proctor alkalmassági vizsgálat eredményei: $\rho_{dmax} = 2,05 \text{ g/cm}^3$, $w_{opt} = 8,0 \%$

	1	2	3	4	5
w%	4,2	5,8	7,5	9,2	11,0
ρ_n	1,99	2,02	2,05	2,05	1,98

6. táblázat: Proctor vizsgálat eredményei

A Proctor vizsgálattal megállapított viszonyítási sűrűség, ρ_{dmax} , mérési hibáját is figyelembe véve a B&C és az izotópos vizsgálati pontossága is romlik.

Általában jellemző, hogy a Proctor sűrűség változását $\pm 0,025 \text{ g/cm}^3$ tartományban engedjük meg, egyébként új Proctor vizsgálat végzése szükséges. Így a viszonyítási sűrűség (és a hozzátartozó optimális víztartalom) hibáját $\Delta\rho_{dmax} = \pm 0,025 \text{ g/cm}^3$ -t vettük figyelembe.

A viszonyítási sűrűség ingadozása, $\rho_{dmax} = 2,05 \text{ g/cm}^3$, esetén:

$$a \rho_{dmax-min} = 2,025 \text{ g/cm}^3$$

$$a \rho_{dmax-átlag} = 2,050 \text{ g/cm}^3$$

$$a \rho_{dmax-max} = 2,075 \text{ g/cm}^3 \text{ értékű.}$$

Mivel mind a nedves sűrűség, mind a víztartalom, mind a viszonyítási sűrűség hibákat \pm eltéréseket külön-külön variációban kell figyelembe venni, most összesen 228 (19x4x3) tömörségi fok értékét fogjuk kapni (7. táblázat).

A kapott tömörségi fokok terjedelmét a 7. táblázatban kapott egyedi értékekből határozzuk meg. Ebből meghatározzuk a terjedelem felét, mely a számított vizsgálati pontosság a legnagyobb száraz sűrűség mérési hibájának figyelembe vételével.

Trg											
$\rho_{dmax} = 2,025$				$\rho_{dmax} = 2,050$				$\rho_{dmax} = 2,075$			
94%	91%	89%	97%	93%	90%	88%	96%	92%	89%	87%	94%
93%	94%	92%	96%	92%	93%	91%	94%	91%	92%	90%	93%
93%	94%	91%	96%	92%	93%	90%	95%	91%	92%	89%	94%
93%	94%	92%	95%	92%	92%	90%	94%	91%	91%	89%	93%
94%	91%	89%	96%	93%	90%	88%	94%	91%	89%	87%	93%
94%	90%	89%	95%	93%	89%	88%	94%	92%	88%	87%	93%
92%	91%	89%	93%	90%	90%	88%	92%	89%	89%	87%	91%
91%	91%	90%	93%	90%	90%	89%	92%	89%	89%	88%	91%
93%	91%	89%	95%	92%	90%	88%	94%	91%	89%	87%	93%
94%	92%	90%	96%	93%	91%	89%	95%	92%	90%	88%	94%
91%	95%	90%	97%	90%	94%	89%	95%	89%	93%	88%	94%
91%	96%	89%	98%	90%	95%	88%	96%	89%	94%	87%	95%
90%	93%	87%	97%	89%	92%	86%	96%	88%	91%	85%	94%
91%	93%	88%	96%	90%	91%	87%	95%	89%	90%	86%	93%
90%	91%	88%	93%	89%	90%	87%	92%	88%	89%	86%	90%
91%	92%	89%	94%	90%	91%	88%	93%	89%	90%	86%	92%
92%	92%	89%	95%	91%	91%	88%	94%	89%	90%	87%	93%
93%	93%	90%	96%	92%	92%	89%	95%	91%	91%	88%	94%
93%	93%	91%	96%	92%	92%	90%	94%	91%	91%	89%	93%

átlag 91%
 max 98%
 min 85%
 $\Delta/2$ 6,4%

7. táblázat

Vizsgálati pontosság a Proctor-vizsgálat hatásával, esetünkben: $\pm 6,4 T_{rg}\%$ a $p = 90\%$ -os valószínűségi szinten

Megjegyzés: a pontosság tekintetében a $T_{rg}\%$ átlaga indifferens, tartománya $T_{rg}\%=90-100\%$ közötti.

B. DINAMIKUS TÖMÖRSÉGMÉRÉS BC KÉSZÜLÉKKEL (ÚT 2-2.124)

A próbatömörítés során $0,5 \times 0,5 \text{ m}^2$ -en belül 3×3 raszterben összesen 9 pontban mértük a tömörségi fokot a B&C készülékkel. A kapott eredményből kiszámítottuk az alap sokaság statisztikai jellemzőit (átlag, szórás, maximum, minimum), amely a 8. táblázatban látható

	$T_{rE}\%$
1	96,0
2	95,5
3	96,8
4	96,6
5	96,0
6	95,3
7	96,3
8	96,5
9	96,4
átlag	96,1
max	96,8
min	95,3
szórás	0,506

8. táblázat: B&C eredményei

A kapott eredményből kettes mozgóátlag alkalmazásával a részeredményt képezzük. Egyes mértékadó eredményből kiszámítjuk az alap sokaság statisztikai jellemzőit (átlag, szórás).

B.1. Vizsgálati pontosság számítása a Proctor vizsgálati görbe hatása nélkül

A mérés hibáját 90%-os megbízhatósággal, a kis mintaszámú statisztikai elemzéshez használatos Student-féle eloszlással, a következő képlettel számítjuk:

$$\Delta = \pm \frac{t \times S}{\sqrt{n}}$$

ahol:

S = a mérési sokaság alapszórása

$n=2$, mert egy B&C mérést két részeredményből átlagolunk

$t = 3,078$ Student-féle tényező ($v=(n-1)=1$ szabadságfok és $\alpha = 0,1$ szignifikancia-szint mellett)

A fenti alapján meghatároztuk a relatív tömörségi fok hibáját, amely a 9. táblázatban látható.

TrE%		
		métékadó
96,0	95,5	95,7
95,5	96,8	96,1
96,8	96,6	96,7
96,6	96,0	96,3
96,0	95,3	95,6
95,3	96,3	95,8
96,3	96,5	96,4
96,5	96,4	96,5
96,4	96,0	96,2
szórás		0,360
hiba (\pm)		0,8
átlag		96,1
max		96,9
min		95,4

9. táblázat

Mivel $T_{rd} \% = T_{rE} \% \times T_{rw}$, ahol T_{rw} jelen esetben optimális víztartalomnál eggyel egyenlő, azzaz $T_{rd} \% = T_{rE} \%$.

Vizsgálati pontosság, esetünkben, ha a nedvességkorrekciós tényező hibáját nem vesszük figyelembe: $\pm 0,8 T_{rg} \% p = 90\%$ -os valószínűségi szinten

Megjegyzés: a pontosság tekintetében a $Trg\%$ átlaga indifferens, tartománya $T_{rg}\%=90-100\%$ közötti.

B.2. Vizsgálati pontosság számítása a Proctor vizsgálat hatásával

A dinamikus tömörségmérés eredményére a Proctor görbe görbületének van hatása, de nem a ρ_{dmax} abszolút értékének. Esetünkben feltételeztük, hogy az ÚT 2-1.222 és a tenderek általában szokásos feltételeit betartva a $w_{opt} \pm 3\%$ -os tartományba esik a beépített vizsgálati anyag víztartalma. A laboratórium által végzett alkalmassági vizsgálatból előállított T_{rw} értékeket vesszük továbbiakban figyelembe. (A Proctor görbét elemezve $\pm 0,025 \text{ g/cm}^3$ általában eltéréshez $\Delta w \approx 3\%$ víztartalom eltérés tartozik).

A labor által végzett Proctor eredményének alapján, $w_{opt} \pm 3\%$ víztartalom sávra $\Delta w = 1$ lépcsővel kiszámítottuk a nedves korrekciós tényezőket.

w%	ρ_{di}	T_{rw}
5,0	1,997	0,974
6,0	2,026	0,988
7,0	2,042	0,996
8,0	2,048	0,999
9,0	2,043	0,997
10,0	2,026	0,988
11,0	1,998	0,975
	átlag	0,988
	max	0,999
	min	0,974
	szórás	0,010
	rel.szórás	1%

10. táblázat

Tételezzük fel, hogy ezek a B&C mérés során véletlenszerű kialakulást mutatnak. A 9 mértékadó relatív tömörségi fok és a 3 nedvesség korrekciós tényező variálásának a szorzatából kiszámítjuk a 27 db dinamikus tömörségi fokot, amelynek az értékei a 11. táblázatban foglalhatók

mértékadó $T_{rE}\%$	T_{rw}		
	0,999	0,988	0,974
95,7	95,6	94,6	93,2
96,1	96,0	95,0	93,6
96,7	96,6	95,5	94,2
96,3	96,2	95,2	93,8
95,6	95,5	94,5	93,1
95,8	95,7	94,7	93,3
96,4	96,3	95,3	93,9
96,5	96,4	95,3	93,9
96,2	96,1	95,1	93,7
	átlag	94,9	
	max	96,6	
	min	93,1	
	$\Delta/2$	1,7	

11. táblázat

Ebből meghatározzuk a terjedelem felét, mely a számított vizsgálati pontosság a nedvesség korrekciós tényező hibájának figyelembe vételével.

Tehát a dinamikus tömörségi fok pontossága a víztartalom $\pm 3\%$ esetén $\pm 1,7\%$ lesz, ha a Proctor görbe hatásait is figyelembe vesszük.

C. ÖSSZEFOGLALÁS

A bevezetőben jelzett anyagon, helyen és időpontban elvégzett próbamérések alapján a minősítésre használatos mérések pontossága a statisztikai számítások szerint:

	ÚT 2-3.103 Izotópos mérés	ÚT 2-2.124 Dinamikus mérés
ρ_{dmax} hibája nélkül	\pm 5,3 $T_{rg}\%$	\pm 0,8 $T_{rg}\%$
ρ_{dmax} hibájával együtt	\pm 6,4 $T_{rg}\%$	\pm 1,7 $T_{rg}\%$
p = 90%-os megbízhatóság és STUDENT-féle statisztikai eloszlás feltételezésével		