

METRÓÁLLOMÁSOK VÍZZÁRÓ VASBETONSZERKEZETÉNEK ÉPÍTÉSE A WEIßE WANNE (FEHÉR KÁD) OSZTRÁK IRÁNYELVEK ALAPJÁN

Czotter László

Porr Építési Kft., projektvezető

Bevezetés

A 4-es metró épülő 10 db állomása szerkezeti kialakítását tekintve jelentősen eltér a korábbi mélyvezetésű metróvonalak bányászott állomásaitól. Az állomások építészeti kialakításánál a látvány került előtérbe és kevésbé lettek figyelembe véve az építési technológia korlátai. Az állomások többsége az egységes építészeti koncepció alapján egy-egy nagy méretű dobozszerkezet impozáns belső terekkel, látványos megtámasztási rendszerekkel. Vannak olyan állomások, ahol hely hiányában a teljes szerkezetet nem lehetett így kialakítani, ezeknél a kisebb méretű dobozszerkezethez bányászott peronalagutak kapcsolódnak. A BPV konzorcium (Bilfinger Berger AG, A. Porr AG, Vegyész ZRt.) által épített három metróállomás: a Tétényi út, a Népszínház utca és a Keleti pályaudvar állomások mindegyike a tisztán doboz szerkezetű állomások közé tartozik.

A kivitelezés megkezdése előtt több kérdést kellett tisztáznunk. Miként biztosítsuk a „porszárazsági követelmény” teljesülését? Milyen legyen a szerkezeti kialakítás? Milyen építéstechnológiát válasszunk? Hogyan használjuk ki a rendelkezésünkre álló organizációs feltételeket? Miként tudjuk biztosítani a látszóbetonra előírt követelmények teljesülését, összeegyeztethető-e egyáltalán az egyéb követelményekkel? A szerkezeti kialakítást és az alkalmazott építéstechnológiát nagyban befolyásolta, hogy a metró tenderben megfogalmazott vízzáró követelményeket milyen módon biztosítjuk. Bár a tender követelményei szerint a „műtárgyak szigetelése lehet vízzáró tömegbeton, vagy fóliaszigetelés”, a tendertervek nem csak a földemlemezeken, hanem a résfal és a bélésfal között, továbbá az alaplemez alatt is fóliaszigetelést tartalmaztak.

Konzorciumunk azonban az osztrák metróépítési tapasztalatok alapján az állomási műtárgyaknál az alaplemez alatt, ill. a bélésfalnál a külső fóliaszigetelést elhagyta, helyette a szerkezetet vízzáró betonépítményként készítette el a Magyarországon hatályos előírások betartása mellett az osztrák Weiße Wanne (fehér kád) irányelveinek figyelembe vételével. A zárófödém fölé az előírásoknak megfelelően fóliaszigetelés készült. A tervezés során egy osztrák tervező iroda ellenőrizte folyamatosan, hogy a szerkezeti kialakítások, vasalási tervek megfelelnek-e a Weiße Wanne irányelvnek.

Weiße Wanne irányelv – az elmélet

A 2002 decemberében kiadott Weiße Wanne irányelv alapján azokat az építményeket nevezzük vízzáró betonépítménynek, melyeknél a vasbeton szerkezet a tartó funkció mellett a vízzel szembeni szigetelés feladatait is elvégzi. Tipikus alkalmazási területe a nyílt építmódú alagutak, állomások.

Az irányelv alapja a következő koncepció:

A betonszerkezet vízzáró kialakítása érdekében lehetőség szerint el kell kerülni a repedések képződését, a mégis keletkező repedések elosztásához pedig olyan alkalmas vasalást kell kialakítani, hogy az egyes repedések tágassága kicsi maradjon, és így a víz áthatolása lehetőleg a vízzáróság követelményei alatt maradjon. Minden olyan esetben, melyeknél ennek ellenére vízvezető repedések képződnek, azokat injektálásokkal utólag le kell zárni. A Weiße Wanne alapján készített szerkezetek utólagos javítása mindig egyszerűbb, mint a külső fóliaszigeteléssel készített szerkezeteké, mivel a hibahely jól lokalizálható.

A Weiße Wanne irányelv célja, hogy „ésszerű”, nem túl magas repedéskorlátozó vashányaddal biztosítsa a vízzáró betonépítmények célirányos és gazdaságos előállítását. A vashányad növelése ugyan tendenciózusan csökkenti a repedéseket, azonban növeli az előállítási költségeket anélkül, hogy az egyes repedések megjelenése alapvetően kizárható lenne.

A Weiße Wanne alkalmazása esetén a külső befolyásoló tényezők - mint víznyomás, talaj-és klímaviszonyok stb. - függvényében az alkalmas szerkezeti osztály kiválasztásával egy előre meghatározandó követelményszályt lehet elérni.

A Weisse Wanne irányelvben definiált követelményszályok az alábbiak:

Követelményszály	Rövid megnevezés	A betonfelület leírása	A nedvesedési helyek megítélése	Megengedett hibahelyek (nedvesedési helyek, repedések, stb.) a felületen	Pótintézkedések
AS különleges osztály	Teljesen száraz	Nem ismerhető fel vizuálisan megállapítható nedvesedési hely (sötét elszíneződés)			A helyiség építésfizikai vizsgálata és kondicionálása/ klimatizálása feltétlenül szükséges.
A1	Messze-menően száraz	Vizuálisan egyedileg megállapítható nedvesedési helyek (max. matt sötét elszíneződés)	Száraz kézzel érintve (felületileg) a kézen nem ismerhetők fel víznyomok.	Az építmény felületének 1 ezreléke megengedett nedvesedési helyként. Vízcsíkok, melyek max. 20 cm után lecsepegnek.	Szükséges az az építésfizikai vizsgálat, melynek következtében lehetséges, hogy szükséges a helyiség kondicionálása/ klimatizálása (pl. emberek hosszú bent tartózkodása esetén).
A2	Enyhén nedves	Vizuálisan és manuálisan megállapítható néhány csillogó nedvesedési hely a felületen.	Nem lehetséges a lefolyó víz mennyiségmérés e. Kézzel érintés után a kézen víznyomok ismerhetők fel.	Nedvesedési helyként a szerkezeti elem felületének 1 %-a megengedett. Egyedi vízcsíkok, melyek a mindenkori szerkezeti elem felületén felszáradnak.	Különleges esetben szükség lehet a kondicionálásra/ klimatizálásra.
A3	Nedves	Cseppenkénti vízkilépés vízfátyol képződésével	A lefolyó víz felfogóedényekben mennyiségileg mérhető.	Falakra, padlólemezre és résfalakra érvényes: a maximális vízmennyiség hibahelyenként ill. a résfal-munkahézag folyómétereként a 0,2 l/h értéket nem lépheti túl, ahol a vízátlépés a fal m ² -ként átlagosan nem lépheti túl a 0,01 l/h értéket.	Víztelenítési intézkedések betervezése.
A4	Vizes	Egyedileg csorgó vízkilépési helyek padlólemez, fal és résfal esetében.	A lefolyó víz a felfogóedényben mennyiségileg mérhető.	A maximális vízmennyiség hibahelyenként nem lépheti túl a 2 l/h értéket, ahol a vízátlépés fal-m ² -ként átlagosan nem lépheti túl az 1 l/h értéket.	Víztelenítési intézkedések betervezése.

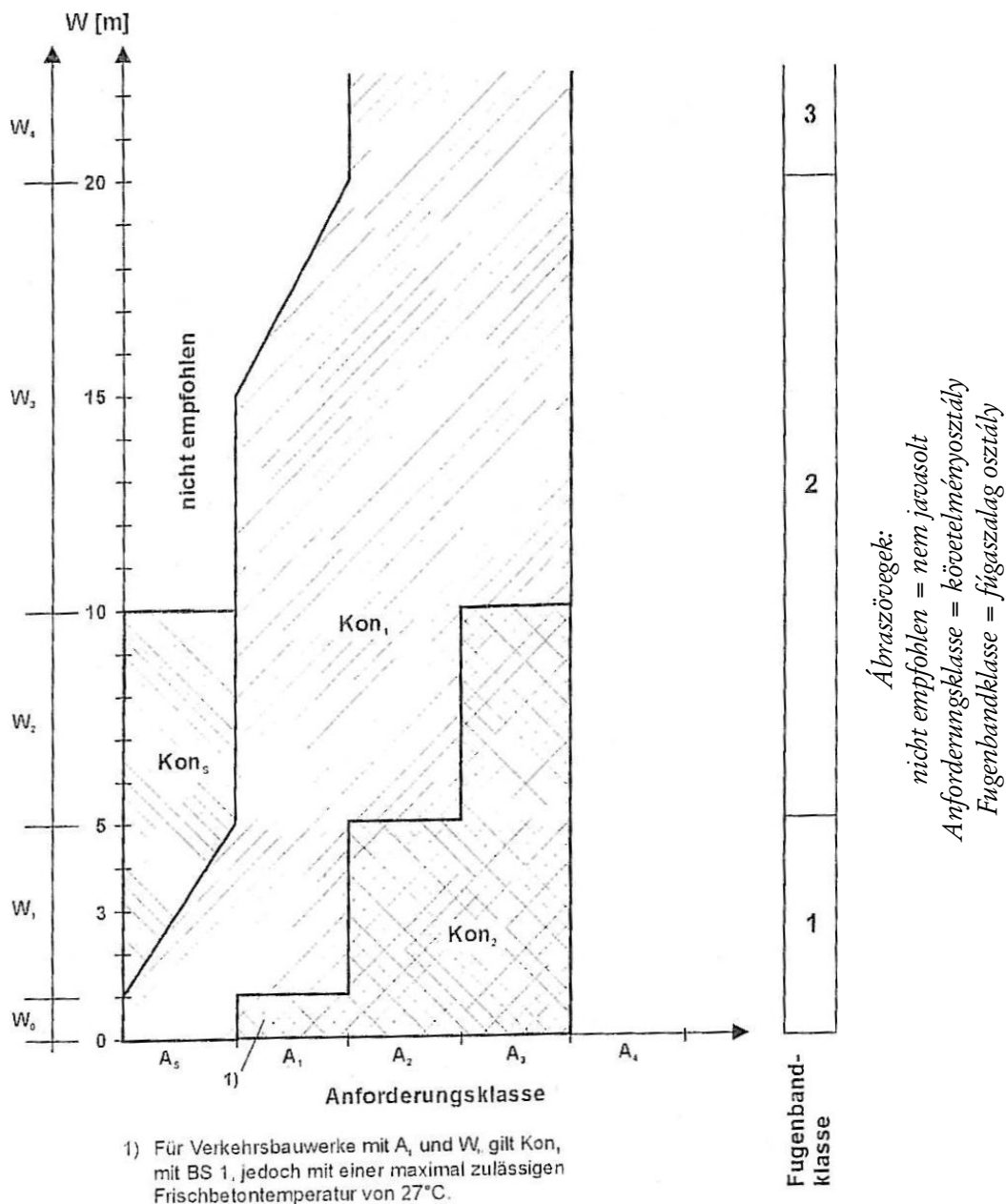
Ezen követelményszályok közül az A1 és A2-es követelményszályok feleltethetők meg a Megbízó által a 4-es metró tenderben megfogalmazott A és B vízzárási kategóriáknak.

A 4-es metró tenderében megfogalmazott vízzárási kategóriák:

Szerkezeti elem, műtárgy	Kategória	Kategória megnevezése
Minden földemlemez Vágányok, csarnokok és közösségi területek	A	Mentes minden látható folyástól, szivárgástól és nedves foltoktól
Vízzáró alaplemezek Vízzáró beton falak	B	A szivárgás kisebb nedves foltokra korlátozódik, és nem lehet látható vízfilm a felületen

Megjegyzés: A nedvesség meghatározása az, hogy érintésre nedvesnek érződik, de nincs látható víz film a felületen.

A követelményosztály definiálása után lehet az alkalmazandó szerkezeti osztályt meghatározni. Az általunk épített metróállomásoknál mértékadó, kb. 20 m körüli víznyomások alapján (W_3 és W_4 víznyomási osztályok), az A1 és A2 követelményosztályokhoz az alábbi ábra alapján a Kon_1 szerkezeti osztályt kell választani:



Az egyes szerkezeti osztályok előírásokat tartalmaznak a szerkezeti kialakításra, így az általunk kiválasztott Kon₁ szerkezeti osztály például az alábbi előírásokat tartalmazza:

A szerkezet minimális vastagság: 35cm.

A méretezéskor a repedéstágasságot 0,20mm alatti értékre kell korlátozni.

A szerkezeti elem javasolt hossza:

Távolságok:

- Tágulási hézagok, térhézagok: 15-30m
- Munkahézagok a falban: ≤ 15 m

Magassági ugrások rámpázva, dőlés kb. 30°

Az elválasztó fólia, csúsztató réteg behelyezése javasolt.

A szerkezeti elem hossza ≤ 40,0m.

Mivel a metróállomások hossza meghaladja a Kon₁ szerkezeti osztályhoz rögzített maximális szerkezeti elem hosszát, így a kiviteli tervek készítése során első lépésként dilatációs egységekre kellett bontani a műtárgyakat, ami nem ment túl egyszerűen, mivel az építészkonceptióval ellenkezett a szerkezeti egységekre bontás. A Tétényi út és Népszínház utca állomások szerkezetét végül 3-3 dilatációs egységre, míg a Keleti pályaudvarnál lévő, több mint 240 méter hosszú kihúzó műtárgyat 10 részre bontottuk fel.

A Weiße Wanne irányelv a szerkezet kialakításán túl előírásokat tartalmaz a minimális betonacél mennyiségére, a hézagok képzésére, a beton gyártására, bedolgozására, utókezelésére és a javítási intézkedésekre (utólagos szigetelés).

A minimális vasalás kialakításánál figyelembe kell venni a hidratációs hő kialakulásából keletkező kényszererőket, továbbá a vasalás szerkezeti kialakításánál törekedni kell arra, hogy a fellépő repedések lehetőleg finom eloszlásúak legyenek, azaz kerülni kell a nagy átmérőjű, ritka vasalást. (A minimális követelmény 15x15 cm-nél nem ritkább négyzetháló, lehetőleg Ø16-os átmérőnél nem nagyobb betonacél.)

Az összes munkahézagnál és a tágulási hézagnál ugyanazt a vízzárési követelményt kell biztosítani, mint a többi szerkezeti elemnél, így az összes munkahézagot (ami esetünkben állomásonként kb. 3.000 folyómétert jelentett) előre megtervezett módon, gondosan elhelyezett fugaszalagok beépítésével kell kialakítani.

A hőmérsékleti ingadozások csökkentése érdekében alacsony hőfejlődésű cementet kell alkalmazni és hosszú ideig (bélésfalaknál min. 36 óra) a zsaluban kell hagyni a bebetonozott szerkezeteket. A Weiße Wanne irányelv alapján törekedni kell a hideg évszakban történő betonozásra, mivel a 22 °C feletti frissbeton-hőmérsékletek már növelik a repedésveszélyt.

A betonra vonatkozó irányelvek betartása érdekében a vízzáró szerkezeti elemeknél (alaplemez, bélésfal, megtámasztó gerendák) CEMIII/B cementet használtunk, de a munkák ütemezése nem tette lehetővé, hogy minden betonozást hideg évszakban végezzünk.

A repedéskorlátozó vasalás és a gondos kivitelezés ellenére képződhetnek repedések vízáteresztéssel, ill. kialakulhatnak nedves helyek. Ezek javítására a Weiße Wanne irányelv az alábbi intézkedéseket javasolja:

A víz csekély átáramlási sebességénél és a repedési él csekély mozgása esetén először, ha lehetséges, ki kell várni, hogy a repedés bezáródása öngyógyulással megtörténik-e. Amennyiben az öngyógyulás nem működik, akkor a repedéseket poliuretánok, egy vagy kétkomponensű reaktív műgyanták injektálásával le kell zárni, az injektálást addig kell folytatni, míg az előírt vízzárási követelmény nem teljesül.

Weiße Wanne irányelv – a gyakorlat

Az alábbiakban az általunk épített metróállomások főbb érdekességeit, kivitelezési tapasztalatait ismertetem különös tekintettel a Weiße Wanne irányelv alkalmazására.

Népszínház utca állomás

A résfallal körülvett állomási doboz belső mérete: 111,5m hosszú, 25,6m széles, az alaplemez alsó síkja a terepszint alatt 26 méterrel helyezkedik el.

A műtárgy 3 szerkezeti részre tagolódik, a résfallal körülhatárolt doboz két végén helyezkednek el öt szinten a gépészeti terek, a középső 80 m hosszúságú szakasz pedig a tulajdonképpeni állomási tér. Az állomási teret a kitámasztó szerkezetek építészetiileg megformált nagyméretű tartói és merevítő gerendái jellemzik, melyeket az építészkonceptió alapján magas minőségű nyersbeton felületként kell kialakítani. A gerendarendszer 3 síkban támasztja egymáshoz a doboz két oldalát. Az alaplemezt és az alsó kitámasztó gerendákat pillérek nem kötik össze, így a peron szintjén a látóteret semmi nem korlátozza. Mivel az állomás egy parkban helyezkedik el, ezért az állomás fölé 3 m vastag földfeltöltés kerül, aminek terhét a felső födémnek kell elviselnie.

A kiviteli tervek készítése során több ponton módosítottuk az eredeti szerkezetet. A maximális szerkezeti hosszra vonatkozó előírásnak megfelelően az állomási műtárgyat három dilatációs egységre bontottuk, a dilatációknál gerendakettőzéseket alkalmaztunk. Módosítottuk a zárófödém szerkezeti kialakítását is. A tenderterveken a felső födém monolit és előre gyártott feszített tartók kombinációjaként lett kialakítva a jelentős földteher miatt. A szerkezetek együtdolgozását a résfal tetején kialakított feigerenda és egy 30cm vastag teherelosztó lemez szolgálta. Ennek az öszvérszerkezetnek több problémája volt:

- statikailag nehezen volt számolható,
- elkészítéséhez a résfalat az építési vízszint alá kellett volna visszabontani,
- a 25m hosszú hídgerendák beszállítása és elhelyezése komoly logisztikai problémát jelentett volna;

Az általunk választott megoldásban elhagytuk a feszített tartókat és a résfal tetejéről a feigerendát, ezek helyett megdupláztuk a monolit gerendák számát és a bélésfal egy sávját alakítottuk ki a résfalat abroncsként megtámasztó mellgerendának. A monolit gerendákat úgy méreteztük, hogy ideiglenes állapotban a teherelosztó lemez nélkül biztosítsák a résfal megtámasztását és a végső állapothoz szükséges teherelosztó lemez külön zsaluzás nélkül, a gerendákra elhelyezett kéregpanelekkel legyen megépíthető.

A szerkezet ilyen átalakításával biztosítottuk annak elvi lehetőségét, hogy a fentről lefelé történő építés esetében is tudjuk használni a telepített toronydarukat az alsóbb szintek szerkezetépítési munkáihoz.

A fenti szerkezeti módosítások mellett a legfontosabb kérdés annak eldöntése volt, hogy fentről lefelé vagy letről felfelé építsünk.

Az építési sorrend tekintetében az állomás jól elkülöníthető két részre. A gépészeti terekben 20 cm vastag falak és 30 cm-es födémek találhatók rengeteg áttöréssel és nyílással, így ezen szerkezeti részeknél csak a klasszikus alulról felfelé történő építkezés lehetséges, azaz a résfal elkészülte után ideiglenes acéltámaszok felhasználásával megtörténik a földkiemelés, majd az alaplemez elkészülte után alulról felfelé halad az építés. A középső állomási tér szerkezeti kialakítása – az, hogy a végleges megtámasztások egyben ideiglenes megtámasztásokként is működhetnek - lehetővé tette a fentről lefelé és a letről felfelé történő építést egyaránt.

Mivel a felső födém feletti területet nem kellett a forgalomnak visszaadnunk és tároló helyként sem volt rá szükség, hiszen óriási felvonulási terület állt rendelkezésünkre, így szabadon dönthettünk az építési technológiáról. Az alulról felfelé történő építés mellett szólt, hogy ebben az esetben előbb elkészíthető az alaplemez – ami számunkra egy kötbérterhes részhatáridő -, ill. lényegesen egyszerűbb a szerkezetépítés és a földkiemelés.

Ellene szólt viszont a rengeteg acéldúc, amire szükség lett volna az ideiglenes állapotban, ill. a rengeteg állvány, amivel a kitámasztó rendszereket és a felső födémeket meg lehetett volna építeni.

Hosszas töprengés után végül a fentről lefelé haladó építés mellett döntöttünk. Döntésünkben szerepet játszott, hogy amikor a technológiát terveztük, már tudtuk, hogy a fúrópajzs az előzetes ütemtervhez képest jelentős csúszásban van.

Az általunk választott építési sorrend az alábbi fő lépésekből áll:

- Résfal készítése
- Földkiemelés a P+4 szint részére
- P+4 kitámasztási szint elkészítése
- Földkiemelés a P+3 szint részére
- P+3 kitámasztási szint elkészítése
- Bélésfalak a P+3 és P+4 szintek között
- Földkiemelés a P+2 szint részére
- P+2 kitámasztási szint elkészítése
- Bélésfalak és pillérek a P+2 és P+3 szintek között
- Földkiemelés az alaplemez részére ideiglenes kitámasztási szint beépítésével
- Alaplemez elkészítése
- Bélésfal az alaplemez és a P+2 szint között
- Gépészeti terek az állomás elején a P+2 szint felett
- P+4 szint befejezése, földfeltöltés
- Pajzs áthaladása
- Bélésfalak elkészítése az alagútsatlakozásoknál
- Gépészeti terek befejezése

Az állomásépítési munkákat azzal kellett kezdenünk, hogy a parkban lévő összes, 40 cm-nél kisebb törzsátmérőjű fát át kellett ültetnünk. A sikeres átültetési akció után kezdődhetett el az állomás tényleges építése.

Az állomási dobozt körülvevő 100cm-es résfal készítése során nagyméretű, 29m mély és 9,20m széles réstáblákat készítettünk, a réstáblákat egymástól Bachy-pallókkal szakaszoltuk. A pajzs be- és kitörések környezetében üvegszál armatúrát építettünk be, annak érdekében, hogy a pajzs akadálytalanul áthaladhasson a résfalon. Az állomás Keleti pályaudvar felőli végén azonban feleslegesnek bizonyult az üvegszál alkalmazása, mivel az alagútépítő vállalkozó még a pajzs megérkezése előtt kibontotta a résfalat és mintegy 10 m hosszúságú lőttbetonos alagútszakaszt készített.

A réstáblák közötti munkahézagban fugaszalag biztosítja a vízzárást. Az elkészült résfal szinte tökéletesen vízzárónak bizonyult, a szakaszos földkiemelés során minimális injektálást kellett csak végeznünk néhány táblacsatlakozásnál. Az alaplemez földkiemelése során kiderült, hogy oldalról nincs is vízbeáramlás, kizárólag alulról áramlik fel a rétegvíz a réstábla csatlakozásoknál. Több szinten találtunk vékony, vízzel telített homokrégeket, az alaplemez alsó síkjánál pedig helyenként több méter vastag homoklencsébe ütköztünk, így az alaplemez alatti szivárgó rendszer kialakítása sok nehézségbe ütközött. A beáramló víz mennyiség nem nagy ($10 \text{ m}^3/\text{nap}$ -nál kisebb), azonban jelentős a nyomása. A 3 méter vastag alaplemezbe 4 db víztelenítő kutat építettünk be, de a folyamatos víztelenítés fenntartásához elég 1 db szivattyú. (A vízszintet az alaplemez alsó síkja alatt tartjuk.) A szivattyú kiesése esetén a víz nagyon rövid idő alatt jelentősen megemelkedik, így már 3 nap leállás estén is elönti az alaplemezt.

Az alaplemez alatti kutakat azonban nem lehet még lezárni, mivel a pajzsok ki- és betörésének környezetében hiányzik a bélésfal. Az állomások geometriai méreti ugyanis nem teszik lehetővé, hogy a bélésfal még a pajzs megérkezése előtt elkészüljön teljes hosszon. A pajzs tengelyének állomáson kívüli elhúzása csak arra teremtett lehetőséget, hogy a bélésfalak középső kb. 80 méter hosszú szakaszai elkészüljenek. Az állomás szerkezeti kialakítása miatt a végső vízzárást a bélésfalnak kell biztosítania, így az alaplemez és a résfal közé nem készült vízzáró kapcsolat, emiatt a kutak lezárása esetén a víz azonnal megjelenne a hiányzó bélésfal szakaszoknál.

A szerkezetek méretezésekor abból indultunk ki, hogy a bélésfal és a résfal között előbb-utóbb felépül a teljes víznyomás. A felúszással szemben a résfalat és belső szerkezeteket a kitámasztási gerendák szintjén a résfalba bevészt fészkekkel kapcsoltuk össze, az alaplemez és a résfal között azonban nem készült erőátadó kapcsolat.

A kivitelezés során a Weiße Wanne irányelv előírásinak megfelelően mindenhol alacsony hőfejlődésű cementet (CEM III/B) alkalmaztunk, a bélésfal és az alaplemez közé, valamint az alaplemez alá csúsztató

réteget építettünk be, a bélésfalak készítése során előre meghatároztuk a záró táblák helyét, és ezek vasalását ennek megfelelően alakítottuk ki. A munkahézagok vízzárását hármas rendszer biztosítja: felületi munkahézag szalag, duzzadó szalag és injektáló tömlő. A Weiße Wanne irányelv ugyan előnyben részesíti a belső munkahézag szalagok alkalmazását, azonban a dilatációs helyeken a P+2 szint felett csak felületi szalagokat tudtunk beépíteni, mivel az építész által engedélyezett gerendakettőzések más lehetőséget nem biztosítottak, így a munkahézag szalagokkal igazodtunk a dilatációs szalagokhoz. A felületi szalagok hátrányát kiküszöbölendő minden munkahézagban elhelyeztünk egy duzzadó szalagot és egy injektáló tömlőt is, továbbá a P+2-es szint alatt pótlólag elhelyeztünk a dilatációkban egy belső szalagot is. A vonalalagút és a bélésfal vízzáró csatlakozását a tübbingek külső palástjára elhelyezett ragasztott fugaszalag (Klemmfugenband), valamint az ezt kiegészítő injektáló tömlő fogja biztosítani.

Az állomás megtámasztó gerendái az építész elképzelésének megfelelően látszóbetonként készültek, azonban a bélésfalaknál fontosabbnak tartottuk a vízzárás biztosítását, így ezeket a szerkezetek eleve úgy terveztük és építettük, hogy utólag egy kéregbeton burkolatot kapnak.

Mivel a kutak jelenleg nincsenek lezárva, így a felső, már elkészített bélésfalak mögött sem tudott még a víznyomás felépülni, emiatt az elkészített szerkezet vízzáróságára még nem lehet következtetni.

Tétényi út

A résfallal körülvett állomási doboz belső mérete: 100,0m hosszú, 24,0m széles, az alaplemez alsó síkja a terepszint alatt 24 méterrel helyezkedik el. Az állomáson a 2,5m vastag alaplemez felett csak egy kitámasztási szint található, amit egy ellipszis alakú nyílás szakít meg, melyen keresztül a mozgólépcső vezet le a peronra. A kitámasztási szint egy alul bordás födém, amely monolit vasbetongerendák, kéregpanel és teherelosztó lemez kombinációjából áll. A kitámasztási szint és alaplemez között egy 10 méter magas bélésfal helyezkedik el, melyet látszóbeton felületként kellett előállítani. A kitámasztási szint felett helyezkedik el az aluljáró szint az üzemi terekkel.

Mivel a kitámasztási szint alsó síkja a terepszint alatt 6 méterrel helyezkedik el, az építési vízszint pedig három méter mélyen található, így a réseleési munkák előtt szádlemezek segítségével egy vízzáró munkagödört kellett kialakítani. Az állomási dobozt körülvevő résfal T-alakú és 60cm vastag. A pajzs be- és kitörések környezetében üvegszál armatúrát építettünk be, annak érdekében, hogy a pajzs akadálytalanul áthaladhasson a résfalon. A T-alakú kialakítás azért készült, hogy a földkiemelés során el lehessen kerülni egy ideiglenes kitámasztási szint beépítését.

Mivel a T-alakú kialakítás ellenére sem tudta volna a résfal a víznyomást felvenni, így a földkiemelés során a résfal előre megtervezett helyeken átfúrásra került. A résfalakon át bevezetett vizet egy, a résfalra rögzített szivárgó paplan vezette be az alaplemez alatt kiépített szivárgó rendszerbe, ahonnan az alaplemezbe elhelyezett kutakon keresztül szivattyúzással került a víz eltávolításra.

Az alul bordás födém elkészítése után a teljes földkiemelés egy építési ütemben történt, majd ezt követően hat építési ütemben elkészítettük az állomás alaplemezét. A 2,5 méter vastag alaplemez betonozása a nyári hónapokra esett, így a frissbeton hőmérsékletének csökkentése érdekében az egyes ütemeket éjszakai műszakban betonoztuk.

Az állomás igazi nehézségét a bélésfalak megépítése jelentette, melyet csak a pajzs áthaladása után, szakaszosan, az alagútépítő folyamatos vasúti üzeme mellett tudtuk készíteni.

A bélésfal építésénél az elsődleges szempontot az építészeti igények kielégítése jelentette, így a 10 méter magas falakat egy magassági ütemben, vízszintes munkahézag nélkül betonoztuk be, a bordás födém 2 méter vastag gerendáiban elhelyezett betonozó csöveken keresztül. A zsaluhéjon elhelyezhető betonozó csónkokkal történő betonozás, vagy a több magassági ütemben történő betonozás sajnos az építészkonceptióba nem fért bele. A betonozás során a zsaluzatba leengedett betonozó csöveket szakaszosan bontottuk vissza, ami hosszabb-rövidebb ideig tartó kényszerű betonozási szüneteket eredményezett. A betonozás sebességét korlátozta továbbá a 10 méter magas egyoldali zsalukkal felvehető betonnyomás is. A betonnyomás ellenőrzésére folyamatosan mértük az egyoldali zsaluzat lehorgonyzó ankerein ébredő erőket, és a betonozás sebességét ennek függvényében szabályoztuk. A beton tömörítését - ami a vízzárás szempontjából elsődleges fontosságú - felületi zsalu vibrátorokkal és a betonozó csöveken keresztül 12 méter magasból „vakon” leengedett tűvibrátorok tudtuk csak biztosítani.

Az állomáson a bélésfalak függőleges munkahézaiban, valamint a bélésfal és a többi szerkezet közötti munkahézagba, ill. a dilatációs hézagokba belső munkahézag szalagokat helyeztünk el.

A bélésfalak elkészítése után még hosszú ideig nem lehetett lezárni az alaplemezen lévő víztelenítő kutakat, mivel az állomási szellőzőalagút építése még nem fejeződött be, így csak a tervezett átadás-átvételi időpont után tudtuk a víztelenítő kutak lezárni. A kutak lezárása után aztán kiderült, hogy az építéskonceptióhoz maximálisan alkalmazkodó szerkezet nem működik tökéletesen, a korábban teljesen száraz bélésfalakon, alapvetően vízszintes hézagok mentén – melyek a kényszerű betonozási szünetek során keletkeztek - nagyon rövid idő alatt vízfolyások jelentek meg. A résfal és a bélésfal között elhelyezett szivárgó paplannak „köszönhetően” a víznyomás pillanatok alatt felépült a bélésfal teljes felületén.

A bélésfalak szárazzá tétele után szembesültünk azzal, hogy a nyári melegben készített alaplemezünkön keresztül is helyenként szivárog a víz. Ennek javítását külön megnehezítette az a tény, hogy a pajzsok áthúzásához készített feltöltő beton - amely nem vízzáró szerkezetként készült – nem lett elbontva, így az alaplemez jelentős részéhez nem lehetett hozzáférni, ill. helyenként a bélésfal és az alaplemez csatlakozásához sem. Hat hónapig tartó injektálási munka után, jelentős ráfordítások árán tudtuk csak az állomásnál az előírt vízzárási követelményeket biztosítani. Az utólagos javítások, injektálások szükségszerű vonzata volt, hogyan a korábban elfoghatónak tűnő látszóbeton felületek is sérültek.

Keleti pályaudvar

A Keleti pályaudvar két egymásmellé épített műtárgyból áll, a 130m hosszú állomási műtárgyból és a 240m hosszú kihúzó műtárgyból, amely a metróvonal továbbépítése során alagúti szakaszként fog működni. A két részt egymástól építési ütemezési okok miatt egy haránt résfallal választottuk el. Mind a kihúzó műtárgy mind az állomás milánói módszerrel, azaz föntről lefelé épült a környezetvédelmi hatóság előírása miatt.

A két műtárgy szerkezeti kialakítását, építéstechnológiáját, ill. a Weiße Wanne irányelvek alkalmazását tekintve is részben eltér egymástól.

A kihúzó műtárgy szerkezeti kialakítása egyszerűbb. A doboz alakú műtárgy átlagosan 110cm vastag zárófödémje és 2,5m vastag alaplemeze közötti 15 méter belmagasságú teret egy sor gerendarács osztja ketté, amely a bélésfalakat egymásnak támasztja. A tenderterveken szereplő előre gyártott, feszített tartókat ennél a műtárgynál is elhagytuk, helyette monolit vasbeton födémeket építettünk mindenhol.

A Weiße Wanne irányelvek előírásainak megfelelően a kihúzó műtárgyat 10 dilatációs egységre bontottuk. A tágulási hézagokban és a munkahézagokban mindenhol belső szalagokat helyeztünk el, ill. a zárófödém-bélésfal, valamint a kitámasztó gerenda-bélésfal csatlakozásoknál levegőztető rendszert, és injektáló tömlőt építettünk be pótlólag, hogy az esetleges betonozási hibákat korrigálni lehessen. A zárófödémnél, az alaplemeznél és a bélésfalaknál alacsony hőfejlődésű CEM III/B cementet használtunk.

A kihúzó műtárgyat egy 100cm-es résfal zárja körül, melynek készítése során több helyen olyan mészkőpadokba ütköztünk, melyeket csak véséssel tudtuk áttörni. Ezek a mészkőpadok a földkiemelés során is előkerültek. A résfal után a zárófödémeket készítettük el, melyen 5 db leadónyílást hagytunk. Az első ütemű földkiemelés után előbb a megtámasztó gerendarácsot, majd az e fölött lévő bélésfalakat készítettük el. A második ütemű földkiemelés után készült el az alaplemez, majd az alsó bélésfal. Mindkét földkiemelési ütem során szükségessé vált egy-egy ideiglenes kitámasztási szint beépítése is. A bélésfalak elkészítése után befoltoztuk a leadónyílásokat, majd elkészítettük a födém feletti szigetelést.

A kihúzó műtárgy betonfelületeinél nem volt elvárás a látszóbeton minőség, így a 7 méter magas bélésfalakat a zsaluhéjon három magassági szinten elhelyezett betonozó csonkokon keresztül tudtuk betonozni, s ezáltal tömörebb betonfalakat tudtunk előállítani, mint a Tétényi úton.

A kihúzó műtárgy érdekessége, hogy a műtárgy keleti végén a II. ütem pajzskiemelő kamrájánál jelen fázisban nem épült meg a bélésfal, így a vízzárást az alaplemez és a résfal csatlakozásánál kellett megoldani. Ezen a helyen a résfalra ragasztott munkahézag szalagot (Klemmfugenband) helyeztünk el, ill. kiegészítésként injektáló tömlőt. Hasonló lezárást alkalmaztunk az alaplemez és a haránt résfal, valamint az alaplemez és a belső résfalak között.

A kihúzó műtárgyban ugyanis két helyen is olyan résfalak vannak, melyek az alaplemezt megszakítják és végleges állapotban tartófalaként működnek, egyik a műtárgyat keresztező főgyűjtőcsatorna, a másik pedig a Keleti pályaudvar sarkánál a műtárgy fölé helyezett ROCLA-csatorna köztes födémjét tartja.

A bélésfalak elkészítése után lezártuk az alaplemezen lévő négy darab víztelenítő kutat, és érdeklődve vártuk, hogy miként működik a Weiße Wanne irányelvek alapján készített szerkezet. Fokozatosan

megjelentek ugyan a bélésfal kisebb repedéseinél, ill. a szabadon álló résfalaknál kisebb vízfolyások, de jelentős vízbeáramlás sehol sem tapasztaltunk. A tágulási hézagoknál, a munkahézagoknál, ill. az alaplemezen keresztül szinte semmilyen vízbeáramlás nem történt, annak ellenére, hogy a bélésfalat az alaplemez felső síkjában kb. 16-17 méter víznyomás terheli. A megjelenő hibahelyeket egy két főből álló injektáló csapat 3 hónap alatt megszüntette, így annak ellenére, hogy a kihúzó műtárgyra nem követelmény, mégis biztosítva van a „porszárazság”.

A Keleti pályaudvar állomási műtárgya a Népszínház utca állomáshoz hasonlóan három szerkezeti részből áll, két végén található az 5, ill. 6 szintes gépészeti terek, középen pedig a 80 méter hosszúságú, egy légtérű perontér. Ennek a csarnoknak több építészeti érdekessége is van, melyek egyben az építési nehézségeket is okozták. Az állomás déli oldalán az újonnan épülő aluljárótól egy üvegfal fogja elválasztani az állomást, amit csak 9 méterenként szakít meg egy-egy pillér, így ezen az oldalon a résfal és a zárófödém nem kapcsolódik össze. A következő nehézséget az okozta, hogy a zárófödém a kis szerkezeti vastagsága miatt nem önhordó, a zárófödém terhét végleges állapotban 10 méter magas ferde pillérek továbbítják konzolok segítségével a legalsó bélésfalra. Mivel az állomási műtárgyat is fentről lefelé kellett építeni, így a födém kitámasztására ideiglenes megoldást kellett találni. A tender tervekben szereplő ideiglenes fűrt cölöpök helyett a födém fölé vasbeton bordákat építettünk, melyeket a kitámasztó rendszer elkészülte után elbontottunk.

Az állomás délnyugati sarka alatt halad el a 2-es metróvonal alagútja. A tendertervek szerint itt egy negatív sarkot kellett volna kialakítani annak érdekében, hogy a résfal a tervezett mélységig elkészíthető legyen. Mivel a talajmechanikai feltárások ezen a helyen vízzáró agyagtalajokat jeleztek, így a negatív sarkot elhagytuk, helyette a 100cm-es résfalat a 2-es metró üzemelő alagútja fölé készítettük el úgy, hogy a résfal talpa az alagút védőtávolságon kívül legyen. Mivel ez a mélység megegyezett a tervezett földkiemelés mélységével, így a résfal befogási hossza 0 méter volt ebben a sarokban. A földkiemelés során meg is találtuk a résfal talpát, de sem vízbeáramlás, sem talajtörés, sem káros résfal mozgás nem következett be.

Az állomás és az alagutak csatlakozása is eltér az általunk épített másik két állomástól. Ennél az állomásnál az alagútépítés vállalkozója nem járult hozzá az üvegszál armatúrával kialakítható soft eye építéséhez, ezért az alagútcsatlakozások helyén közvetlenül a vasalt résfal elé vasalatlan réstáblákat készítettünk, és ennek védelmében még a pajzs megérkezése előtt kibontottuk a vasalt résfalat.

A Keleti pályaudvar állomási műtárgyánál is alapvetően a Weiße Wanne irányelveinek megfelelően jártunk el, azonban legalább egy vonatkozásban nem tartottuk be az előírásokat, ugyanis ez a 130 méter hosszú állomás tágulási hézagok nélkül készült. A munkahézagok természetesen itt is vízzáró módon lettek kialakítva, belső munkahézag szalagok elhelyezésével.

Mivel a pajzskiszerelés környezetében még nem készültek el a bélésfalak, továbbá a 2-es metróhoz kapcsolatot biztosító déli kijárat sem épült meg, így az alaplemezben lévő víztelenítő kutak még mindig üzemelnek, lezárásuk csak jövő tavasszal várható, és majd csak ekkor derül ki, hogy a tágulási hézagok nélkül kialakított állomási részen működik-e ugyanúgy a vízzárás, mint a kihúzó műtárgynál.

Összefoglaló gondolatok

A konzorciumunk által épített metróállomásoknál igyekeztünk következetesen betartatni a Weiße Wanne irányelv előírásait annak érdekében, hogy a külső szigetelés nélkül készített vasbetonszerkezetek a megfelelő vízzárást biztosítsák. Van olyan általunk készített szerkezet, amely már visszaigazolta, hogy az irányelv betartásával elérhető a megcélzott vízzárás, van olyan is, ahol csak jelentős pótlólagos injektálással lehetett a megfelelő vízzárást elérni, ill. vannak olyan szerkezeteink, ahol még nem épült fel a víznyomás, így a munkák eredményessége még nem értékelhető.

Ahány kivitelező, annyi különböző szigetelési megoldás született az épülő metróállomásokon, melyek közül csak egy lehetséges megoldás a Weiße Wanne irányelvek alapján kivitelezett külső szigetelés nélküli vízzáró vasbetonépítmény. Előnye ennek a megoldásnak, hogy a hibahelyek jól lokalizálhatók, ill. könnyen javíthatók, hátránya viszont, hogy minden munkahézag és dilatáció megtervezése és kialakítása különös gondosságot igényel.

Idővel elválik majd, hogy az általunk választott szigetelési megoldás gazdaságos megoldásnak bizonyul-e, de már most levonható néhány olyan tanulság, ami a későbbiekben épülő metróállomások esetében megfontolást érdemel:

- Az állomások belső méreteit úgy célszerű meghatározni, hogy még a pajzsok megérkezése előtt megépíthető legyen a bélésfal az alagúti csatlakozások kivételével, s ezáltal a víztelenítő kutak minél előbb lezárhatók legyenek annak érdekében, hogy kellő idő maradjon a javítási munkákra.
- A külső vízzárást biztosító szerkezeteket építése során, különösen az alaplemez feletti bélésfalaknál a megfelelő tömörségű betonfelület előállításának kellene lenni az elsődleges szempontnak, nem pedig az esztétikai szempontoknak.
- A külső vízzárást biztosító szerkezeteknél a gondos kivitelezés ellenére is előfordulhatnak hibahelyek, melyeket utólag injektálással javítani kell. A javítás a felület szükségszerű sérülésével jár, így az építészek által elképzelt felületi javítás nélküli betonfelületek a vízzárást biztosító bélésfalaknál nem megoldhatók.
- A pajzs áthúzásához szolgáló feltöltő beton, mint megmaradó szerkezet nem szerencsés megoldás, mivel jelentősen megnehezíti az alaplemez és a bélésfal utólagos javítását.
- Amennyiben lehetséges, akkor a nagy vastagságú alaplemezek betonozását feltétlenül a hideg évszakokra kell ütemezni.