

Munkatér határoló szerkezetek



Magyar Mérnöki Kamara
Kiadványsorozata **37.**

Munkatér határoló szerkezetek

MMK FAP azonosító:
FAP-2019/103-GT

Budapest, 2019. szeptember

A sorozat szerkesztője:
NAGY GYULA
a Magyar Mérnöki Kamara elnöke

Készült a Magyar Mérnöki Kamara Geotechnikai Tagozatának gondozásában, a 2019. évi Feladat Alapú Pályázatok pénzügyi keretéből.

A kiadvány a Magyar Mérnöki Kamara tulajdona. Másolása, teljes terjedelmében való közzététele csak a Kamara engedélyével lehetséges. Minden jog fenntartva.

Szerzők:
Manninger Marcell
Szepesházi Attila
Scheuring Ferenc
Molnár György

Lektorálta:
Szilvágyi László

-

Kiadó:

Magyar Mérnöki Kamara
1094 Budapest, Angyal u. 1-3.
info@mmk.hu, www.mmk.hu

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés	8
2. Szerkezetípusok, alkalmazási körök, kivitelezési kérdések	9
2.1. Résfalak	9
2.2. Cölöpfalak.....	13
2.3. Egyéb faltípusok	16
2.3.1. Berlini (Siemens) dúcolat.....	16
2.3.2. Jet-grouting fal.....	18
2.3.3. Erősített önszilárduló zagyfal.....	19
2.3.4. Szádfal	20
2.4. Megtámasztó szerkezetek	21
2.4.1. Fúrt, injektált talajhorgonyok.....	21
2.4.2. Acél csőtámaszok	25
2.4.3. Támaszfödém (milánói módszer).....	27
2.4.4. Passzív hátrakötés	27
2.5. Munkaplatform kialakítása	28
2.6. Monitoring.....	31
3. Modellezési kérdések	32
3.1. Bevezetés	32
3.2. Modellezési eljárások	33
3.3. Falszerkezet modellezése	37
3.4. Talaj és szerkezet kölcsönhatásának leírása.....	39
3.5. Talajvíznyomások modellezése	43
3.6. Megtámasztások modellezése	44
3.7. Egyéb terhelések leírása	47
3.8. Építési fázisok szerepe.....	49
4. Méretezési kérdések	50
4.1. Stabilitás.....	50
4.2. Tartószerkezeti elemek méretezése	51
4.2.1. Falszerkezetek méretezése.....	51
4.2.1.1. Helyszínen betonozott szerkezetek	51

4.2.1.2.	Merev acélbetétek.....	56
4.2.2.	Támszerkezetek méretezése.....	56
4.2.2.1.	Horgonyok.....	56
4.2.2.2.	Dúcok.....	57
4.3.	A környező létesítményekre gyakorolt hatás	57
5.	Mintapéldák.....	59
5.1.	Hézagos cölöpfal méretezése.....	59
5.1.1.	A feladat ismertetése	59
5.1.2.	Kapcsolódó szerkezetek, geometriai kényszerek	59
5.1.3.	Talaj, talajvíz ismertetése	59
5.1.4.	Vizsgálendő határállapotok.....	60
5.1.5.	Építési fázisok.....	61
5.1.6.	Cölöpfal kialakítása	61
5.1.7.	Cölöpfal modellezése.....	62
5.1.7.1.	Tervezési-módszer, parciális tényezők.....	62
5.1.7.2.	A számítások bemenő paraméterei.....	64
5.1.7.3.	Modellezés alapelvek.....	65
5.1.7.4.	Modellezés eredményei.....	66
5.1.8.	Cölöpfal vasalása	67
5.1.9.	Acél csőtámasz méretezése	68
5.1.9.1.	Csőtámasz és kapcsolatainak kialakítása	68
5.1.9.2.	Méretezés alapadatai, alapelvei.....	69
5.1.9.3.	Csőtámasz ellenőrzése kihajlással szemben	70
5.1.9.4.	Csőtámasz-fejgerenda kapcsolat ellenőrzése	71
5.2.	Merev betétes, horgonyzott jet grouting fal ellenőrzése	74
5.2.1.	Bevezetés.....	74
5.2.2.	Feladat ismertetése.....	74
5.2.3.	Szabványok.....	75
5.2.4.	Altalajviszonyok	75
5.2.5.	Szerkezet ismertetése, geometria.....	76
5.2.6.	Anyagminőségek	78
5.2.7.	Terhek.....	78
5.2.8.	Számítás leírása	78
5.2.9.	Szerkezetek feszültségeinek ellenőrzése.....	79

5.2.9.1.	Merev acél betét.....	79
5.2.9.2.	Horgonyszár ellenőrzése	80
5.2.10.	Talaj feszültségeinek ellenőrzése.....	81
5.2.10.1.	Külső stabilitásvizsgálat	81
5.2.10.2.	Belső stabilitásvizsgálat	81
5.2.10.3.	A horgony befogás ellenőrzése.....	83
5.2.10.4.	A jet grouting fal befogási ellenállásának ellenőrzése	83
6.	Ajánlott szakirodalmak.....	85

1. Bevezetés

Munkatér határolás elterjedt megoldásaként alkalmazunk befogott támszerkezeteket, melyek acélból, vasbetonból vagy fából készített, viszonylag vékony falak. Ezek egyensúlyát horgonyok, dúcok és/vagy a passzív földnyomás biztosítja. Az ilyen falak hajlítási teherviselő képessége jelentős szerepet játszik a megtámasztásban, míg a fal súlyának szerepe jelentéktelen.

Befogott támszerkezeteket célszerű alkalmazni, ha:

- nincsen elegendő hely rézsúk és támfalak kialakításra,
- a lehető legkisebb földmunkára kell törekedni,
- nincsen támfal-alap fogadására alkalmas talaj a tereplépcső alsó szintjén,
- a támfal építése közben nagy lenne a csúszásveszély,
- a természetes lejtőben mélyen haladó csúszólapon bekövetkező csúszás fenyeget,
- támszerkezet mögötti terület beépítettsége miatt a mozgásokat erősen korlátozni kell,
- a megtámasztás alsó szintjét élővíz határolja és tartani kell a kimosódástól.

Infrastruktúraépítési területen befogott szerkezetek alkalmazása elsősorban bevágásba készülő műtárgyak (pl. aluljárók), partfalak kiépítése (pl. kikötők, duzzasztóművek, ideiglenes munkateretek) esetén jön szóba. Városi mélyépítésben metróállomások és lakó- vagy irodaépületek alá kerülő mélygarázsok munkatér határolásai jelentik fő alkalmazási területüket. Hazánkban elsősorban a résfalak és a cölöpfalak, illetve főleg vízépítési területen, szádfalak készülnek.

Jelen kiadványban a hazánkban előforduló feladatok megoldására általánosan alkalmazható befogott és/vagy megtámasztott falszerkezetekkel foglalkozunk. Ismertetjük az egyes változatok jellegzetes alkalmazási köreit, általános kivitelezés technológiai összefüggéseit, majd áttekintjük modellezésük és méretezésük korszerű eljárásait.

2. Szerkezetípusok, alkalmazási körök, kivitelezési kérdések

2.1. Résfalak

A résfal a talajba kiemelt vékony részbe készített előregyártott vagy helyben betonozott vasalt vagy vasalatlan falszerkezet, mely ideiglenes vagy végleges megtámasztási és vízzárósági funkció ellátására készülhet. A beton résfalak nagy függőleges és vízszintes terhek viselésére és talajba való közvetítésére alkalmasak viszonylag kis alakváltozások mellett.

Résfalakat útépítésnél elsősorban műtárgyak (aluljárók, hidak) munkatérhatároló szerkezeteként és függőleges teherviselő elemeiként alkalmaznak mind ideiglenes, mind pedig végleges állapotban. Közúti, gyalogos aluljárók építése rendszerint ezen technológiával készül ezzel biztosítva a végleges állapotban a vízzárósági igényt. Bevágási résűkben éppen a vízzárósága miatt (víznyomás nem kezelhető) nem alkalmazzák. Városi építésnél olyan munkagödrök partfalmegtámasztásánál alkalmazzák, ahol a földkiemelés szintje a környező talajvíz szintjénél jelentősen mélyebb. Ilyenkor elsősorban a megfelelő mélységben települt, kvázi vízzáró talajrétegbe beállítva készül a résfal, ezzel biztosítva, hogy a pincetömb ideiglenes vagy végleges üzemű víztelenítése során a lehető legkevesebb talajvíz szivárogon a résfalakkal körbezárt területen belülré. Amennyiben az építési terület alatt nincs vízzáró talajréteg és a munkagödör ideiglenes víztelenítésekor nagy beáramló vízmennyiség kezelésére (megfelelő szivattyú és befogadó kapacitás esetén) van mód, készülhet ún. lebegő résfal. Ekkor a résfal alul nem köt be vízzáró talajrétegbe.

A résfal alkalmazásának előnyei: hátrahorgonyzás vagy belső dúcolás esetén a résfal vízszintes deformációi megfelelően korlátozhatók, 25m mélységtől kezdve gyakorlatilag ez az egyetlen gazdaságosan alkalmazható alapozási és megtámasztási mód, és a munkatér határolások kivitelezési idejét tekintve a top-down megtámasztással kombinált horgonyzott résfalak igen időtakarékos megoldások. Hátrányuk a fajlagosan magas anyag-felhasználás és a megtámasztó folyadék használatához kapcsolódó kezelés szükségessége.

A résfalak minden esetben függőleges kivitelezésben készülnek. A réskiemelő kanalak köteles, illetve hidraulikus kanalak lehetnek, vagy marótárcsás, folyadékáramlásos talajeltávolítást alkalmazó talajmaró berendezések (hidrofrézerek). A hazánkban járatos köteles markólóra szerelt kanalas, vagy hidraulikus kanalas szedés esetén névleges vastagságuk 40, 50, 60, 80 cm, hidrofrézeres szedés esetén ez elérheti a 3,0 métert is. A járatos függélyszélesség 2,80 m vagy 3,40 m, de ez a kivitelezői géppark függvényében változhat. A résfal mélysége köteles és hidraulikus réskanál

használatával 30-40 m, hidrofrezerral maximum 100-150 m. A szabványos függőlegességi tűrés 1%, különleges intézkedésekkel (munkaszint, valós idejű monitorozás és korrigálás) ez 0,5%-ra csökkenthető.

A helyben betonozott résfal a talajban nyitott résben, vasalt vagy vasalatlan betonból készített fal. Folyadékkal megtámasztott rések esetén betonozó csövön juttatják a betont a támasztófolyadék alá, máskor száraz résben betonoznak. A résfalkészítés technológiai kulcskérdése a megfelelő megtámasztó folyadék alkalmazása és a megtámasztó hatás folyamatos fenntartása.

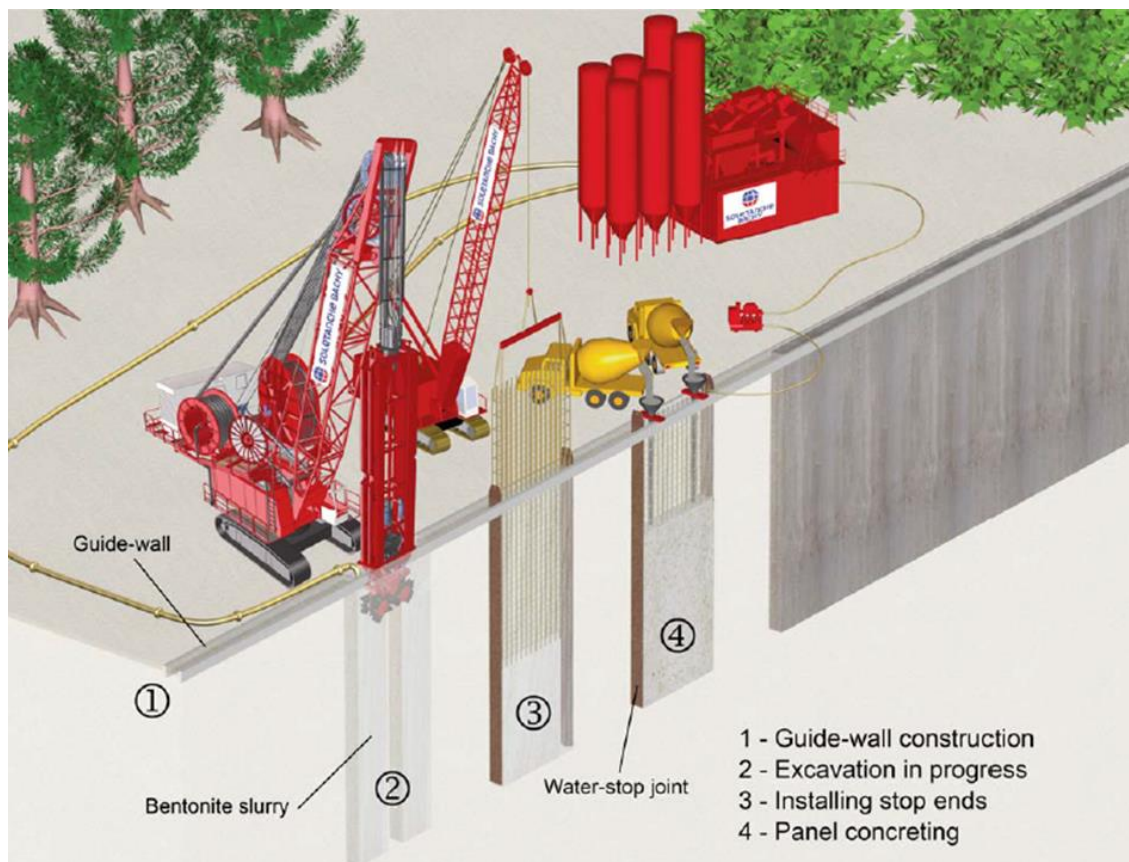


1. ábra: Réselés pozíciója

A kivitelezés kezdő lépése - a jóváhagyott kiviteli terv, technológiai utasítás, minősítési és mintavételi terv birtokában - a felvonulást követően: a munkaszint kialakítása, a résnymovonal geodéziai kitűzése, a megtámasztó folyadék elkészítése és érlelése. Ezt követően építik a résvezető gerendát, ami valójában egymáshoz kitámasztott gerendapár. E segédrendszer biztosítja a réskanál iránytartását, a résarmatúra fix ponthoz történő kifogását, ezen felül meggátolják a támasztófolyadék munkasík alá történő közvetlen beszivárgását valamint a fejgerenda betonozáskor külső oldali zsaluzatként szolgálnak. A gerendapár elemeinek egyedi szélessége legalább 20cm, távolságukat a réskanál névleges méreténél 5cm-rel nagyobb. A résfalak külső síkja határon álló építmények mellett ennek megfelelően a határon álló szerkezetek síkjától névlegesen legalább 20cm távolságban helyezkedhet el. A gyakorlatban a szomszédos épületek homlokzati síkjától tartandó távolságot javasolt megnövelni (további 10-

15cm), ezzel figyelembe venni a munkagép szedés közbeni esetleges mozgását, valamint a homlokzat elméleti síktól való eltérését (külön kezelendők a homlokzat síkjából kiálló egyéb szerkezetek).

Az ezután következő kivitelezési fázisok helyben betonozott résfalak esetében: réskiemelés, réstisztítás (zagycsere), vasalás és szakaszolóelem behelyezése, betonozás, visszabontás. Előregyártott beton résfalak esetében: réskiemelés, általában önszilárduló résiszap védelmében, réstisztítás (csak akkor, ha a megtámasztást bentonit szuszpenzió biztosítja), az előregyártott réstábla behelyezése. Megszakító résiszap falak esetében: földkiemelés az önszilárduló résiszap védelmében, ezután – ha szükséges – a vasalás vagy a szádpallók behelyezése, majd a szilárdulás után visszabontás és a fejgerenda elkészítése. Plasztikus beton falak esetében: földkiemelés rendszerint bentonit szuszpenzió védelmében, réstisztítás, betonozás, szilárdulás után visszabontás. Kanalas vagy hidrofrezeres réskiemelés esetén egy panelen belül egy vagy három függély kerül kiemelésre majd kibetonozásra, és a mellészedéskor a szakaszolóelemek is eltávolításra kerülnek; ez a rendszer a kezdő – haladó és záró panelek rendszere. A technológiától és a réskitöltő anyagtól függően a kiemelés történhet hosszú primer és utólag középük készített rövid szekunder panelekkel is.



1. Résvezető gerenda; 2. Réskiemelés; 3. Vasalás behelyezése; 4. Betonozás

2. ábra: Réselés folyamata

A résfal speciális tervezési kérdéseit és a kivitelezést az MSZ EN 1538 Speciális geotechnikai munkák kivitelezése, résfalak tárgyalja. A résfal kiviteli tervezésekor a résfal nyomvonala, a résvezető gerenda nyomvonala és a panelkiosztás tervezése együttesen történik. A munkaszint és a résvezető gerenda minősége, pontossága, teherbírása az egész kivitelezés minőségére, pontosságára jelentős kihatással van. A maximálisan megnyitható réspanel méretet a talajadottságok és a talajvíz viszonyok, az alkalmazandó megtámasztó folyadék (bentonit szuszpenziók, polimer oldatok, önszilárduló résiszapok) és a környezeti adottságok ismeretében statikailag ellenőrizni kell számítással és/vagy próbaréssel, és meg kell szabni a kiemelt réspanel maximális nyitvatarthatósági idejét is. Az agresszív hatások ellen megfelelő anyagválasztással és betontakarással kell védekezni. A kiviteli tervezés fázisában kell a folyamatos haladást biztosító organizációs kérdéseket rendezni, továbbá ekkor kell az esetleges havária helyzetek (pl. hirtelen zagyszökés, földalatti akadályok, hirtelen talajvízszint emelkedés) kockázatának felmérése után meghatározni e helyzetek technológiai kezelésmódját.



3. ábra: Réspanel kivitelezése

A kivitelezés műszaki felügyeletének és megfigyelésének keretében a következőket kell elvégezni a tervezett és tapasztalt talajmechanikai rétegrend összevetésén és elemzésén túlmenően. Az elfogadott minősítési és mintavételi tervhez tartozó anyagminőség-ellenőrzések, geometriai ellenőrzések elvégzésének megtörténte, a megfelelőség igazolása és a jóváhagyott jegyzőkönyvformátumban történő dokumentálása. Hidraulikus kanalak és hidrofrezerek esetén lehetőség van a

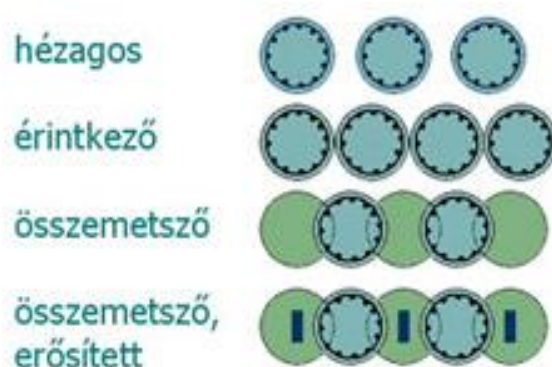
réskiemelés közben a függőlegesség ellenőrzésére. A réskiemelés befejezése után a szedési típustól független mérési módszerrel ugyancsak mód van a függőlegesség ellenőrzésére.



4. ábra: Előregyártott réspanel aluljáró és Győr, Nádor aluljáró - résfalas oldalhatárolás

2.2. Cölöpfalak

A cölöpfalak hézagos vagy zárt (érintkező vagy összemetsző), jellemzően talajhelyettesítéses fúrési technológiával készülő helyszíni vasbeton, ritkábban vert/vibrált előregyártott vasbeton vagy acél cölöpökből álló falszerkezetek. Hazánkban elsősorban talajvízszint feletti, esetleg csak szezonális rétegvizekkel érintett földkiemelések ideiglenes vagy végleges, nem vízzáró munkatérhatároló falaként népszerű. Szigorú, elsősorban a cölöpfúrás függőlegességének tartására vonatkozó technológiai óvintézkedések betartásával, nagyteljesítményű, korszerű cölöpöző gépláncokkal összemetsző kivitelben kvázi-vízzáró munkatérhatároló falként is alkalmazható.



5. ábra: Cölöpfal típusok

Hazai viszonyok között főleg a hézagos kialakítása terjedt el, elsősorban nagyon kemény talajokban vagy puha kőzetekben tervezett földalatti terek, valamint talajvizet

el nem érő, szűk organizációs területű, városi munkatér határolási feladatok megoldására. Gyakran jelenti az optimális technológiát útépítési projektek bevágásaiban tervezett falszerkezetek kivitelezésére is, köszönhetően az így elérhető robosztus, de vízáteresztő szerkezeti kialakításnak. Az összemetsző kialakítás, a résfalás megoldással szemben csak speciális esetekben tud gazdaságos lenni, így ritkán készül. A hézagokat jet-grouting oszlopokkal kitöltve nem vízzáró, de vízteleníthető munkaterek alakíthatóak ki, az összemetsző cölöpfalakhoz képest kisebb technológiai erőfeszítések árán.

Hazai piacon leggyakrabban talajhelyettesítés, folyamatos furatmegtámasztást biztosító CFA cölöpözési technológia jelent optimális megoldást, de keményebb talajokban vagy a CFA technológia korlátját jelentő 20-24m-t meghaladó fúrás mélység esetén acélcső vagy zagyvédelemmel készülő, markolásos fúrás technológiák kerülnek előtérbe. Kis mélységű és kis alaprajzi méretű földkiemelés, korlátozott organizációs lehetőségek esetén kisátmérőjű, általában acélcső védelmében készülő, vasbeton helyett cementhabarccsal körülvett, kis átmérőjű acélszelvényekkel erősített mikrocölöpök is elterjedtek, de kizárólag hézagos kivitelben, ideiglenes funkcióval.

Az egyes technológiákhoz kapcsolódó járatos méretek az alábbiak:

- CFA 40-60-80-100- (120)cm
- Acélcső/zagy megtámasztású markolt cölöpök 80-100-120-(150)cm
- Mikrocölöpök 10-30cm

A cölöpök közötti hézag vállalható mérete a talajkörnyezet állékonyságának, átboltozódási képességének értékelésével állapítható meg, jellemzően 20-60cm közötti, de maximálisan a cölöp átmérőjének megfelelő méretű. A cölöpök közötti hézag kialakítása is gondos tervezést és megvalósítást igényel. Állékony talaj esetén is minimális elvárás az esetlegesen kipergő talaj vagy kőzetrészeket felfogó felületvédelem, mely jellemzően a cölöpök közötti részt takaró, a cölöpök felületén mechanikailag rögzített betonacél háló és geotextília vagy felületszivárgó használatával valósul meg. Az alkalmazott cölöpközhez mérten kevésbé állékony talajok esetén az cölöpök közötti talaj állékonyságvesztése, a földkiemeléssel párhuzamosan megvalósított talajszegekkel és/vagy betonacél hálóval erősített lőtt betonnal stabilizálhatóak. Különösen végleges munkatér határolások esetén, gondoskodni kell a cölöpközökben időszakonként bejutó rétegvizek elvezetéséről is, mely a cölöpközökbe megfelelő védelemmel tervezett dréncsövekkel valósulhat meg. Esztétikai vagy építés-technológiai okokból (pl. a cölöpfal elé kerülő egyoldali zsaluzattal épülő szerkezet) akár a teljes cölöpfal felület borítható a hézagok kapcsán ismertettet rétegrenddel.



6. ábra: Cölöpfal teljes felületén felületszivárgóval, betonacélhálóval és löttbetonnal borítva (balra) és szabad hézagokkal állékony talajban (jobbra)

A cölöpfalak készülhetnek konzolos kialakításban, de ideiglenes vagy végleges megtámasztásokkal (acél csőtámok, talajhorgonyok, szerkezeti támaszok) is. Utóbbiak általában a cölöpök felső síkjukon összefogó vasbeton fejgerendához, esetleg mélyebb szinteken a cölöpök oldalára rögzített vasbeton vagy acél mellgerendákhoz kapcsolódhatnak. Speciális esetben teherelosztó fej- vagy mellgerenda nélkül, az egyes cölöpök egyenként is megtámaszthatók, bár ez ritkán jelent optimális megoldást.



7. ábra: Cölöpfal 5 sorban, teherelosztó gerenda mentén kihorgonyozva

A cölöpfalak kivitelezését és tervezését a speciális mélyépítési technológiák kivitelezése című szabványsorozat cölöpözési munkákra vonatkozó kötetei taglalják: MSZ EN 1536: fúrt cölöpök; MSZ EN 12699: Talajkiszorításos cölöpök, MSZ EN 14199: Mikrocölöpök. A tartószerkezeti, esetleg vízzárási követelmények és végleges, „látszó” falak esetén érvényes esztétikai elvárások miatt a megvalósítás kulcskérdései a cölöpök szabványos, esetleg annál még szigorúbb pozíció- és mérettartása. Még hézagossá kialakításban, optimálisnak tekinthető geotechnikai kondíciók esetén is célszerű, a szokásos cölöpözési eljárásokhoz képest néhány óvintézkedést tenni:

- a cölöpözési munkaplatformot meg kell tervezni, hogy a cölöpöző gép stabilitása, függőleges pozíciója biztosítható legyen,
- cölöpvezető gerendát vagy acélsablont célszerű alkalmazni a cölöpök pozíciójának pontos kijelölése céljából,
- felszín közelében esetleges akadályok felkutatását célszerű elvégezni (pl.: épületmaradványok, közművek), melyek kedvezőtlen módon befolyásolhatják a cölöp iránytartását / függőlegességét,
- érdemes lehet acél iránycsövet alkalmazni, hogy a felszínközeli esetlegesen heterogén, feltöltéses zónákban a furat függőlegestől való eltérése gátolva legyen.

Hasznos eszköz lehet továbbá a korszerű, műszerezett cölöpfúrógépekkel a fúrás függőlegességének méréses megfigyelése. Ugyan pontos dőlési irányultságok megállapítását általában nem teszik lehetővé ezek a műszerek, de legalább lehetőséget adnak a földkiemelés során várhatóan problematikus szakaszok kijelölésére és a beavatkozásra való felkészülésre. A cölöpök tervezett méreteinek, elsősorban átmérőjének biztosítása a betonacél-armatúra elhelyezhetősége miatt lényeges, hiszen egy lokális átmérőszűkülés mind az armatúra elakadását, mind a tervezett betonfedés hiányát is okozhatja, melyek tartószerkezeti szempontból lényeges problémák.

2.3. Egyéb faltípusok

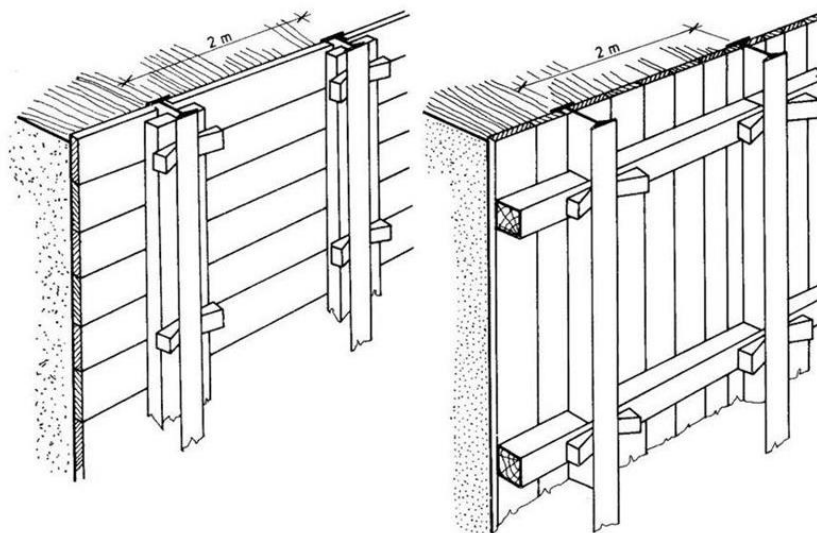
2.3.1. Berliini (Siemens) dúcolat

Talajvíz mentes, száraz, nem túl mély munkaárkok, munkagödrök egyik leggazdaságosabb függőleges partfalmegtámasztása. A hengerelt acél „I” szelvényeket egymástól 1-3 m távolságban, de általában 2 m távolságban, talajtípustól függően veréssel, vagy furatba helyezéssel juttatják függőlegesen a talajba. Sűrűbb tartókiosztást nagyobb terhelések indokolhatnak. A kiosztás távolsága mezőről mezőre nem változhat 50 cm-nél nagyobb mértékben, mert a két oldalról érkező eltérő, aszimmetrikus terhelés – különösen gyenge talajok esetén - a tartók kifordulását okozhatja. A tartók hosszát, azaz a talajba juttatás mélységét földstatikai számításokkal

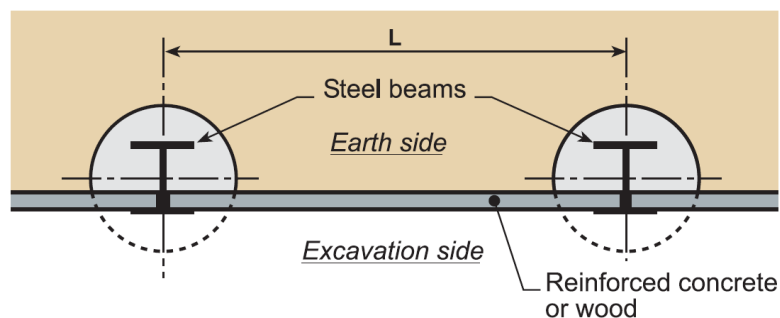
kell ellenőrizni csakúgy, mint az osztástávolság illetve a tartók szelvényének megfelelőségét.

Zajvédelmi okokból manapság verés helyett inkább furatokba helyezik az acél tagokat, így elkerülhetők a veréssel nehezen, vagy egyáltalán nem áthatolható rétegek okozta problémák is. A furatok lehetnek szabadon állók, vagy folyadékkal megtámasztottak. Az acéltagok behelyezése után minden esetben gondoskodni kell a furat megfelelő kitöltéséről, különös tekintettel a kiemelési szint alatti tartományokra.

Az acélgerendák függőleges konzoltartóként, vagy dúccokkal, vagy talajhorgonyokkal gyámolított töbtámaszú tartóként működnek. A gerendák közé, a földkiemeléssel lépést tartva, vízszintes pallókat csúsztatnak, amelyeket kiékelnek a gerendák övlemezeihez.



BERLIN WALLS



8. ábra: Berlini dúcolat

2.3.2. Jet-grouting fal

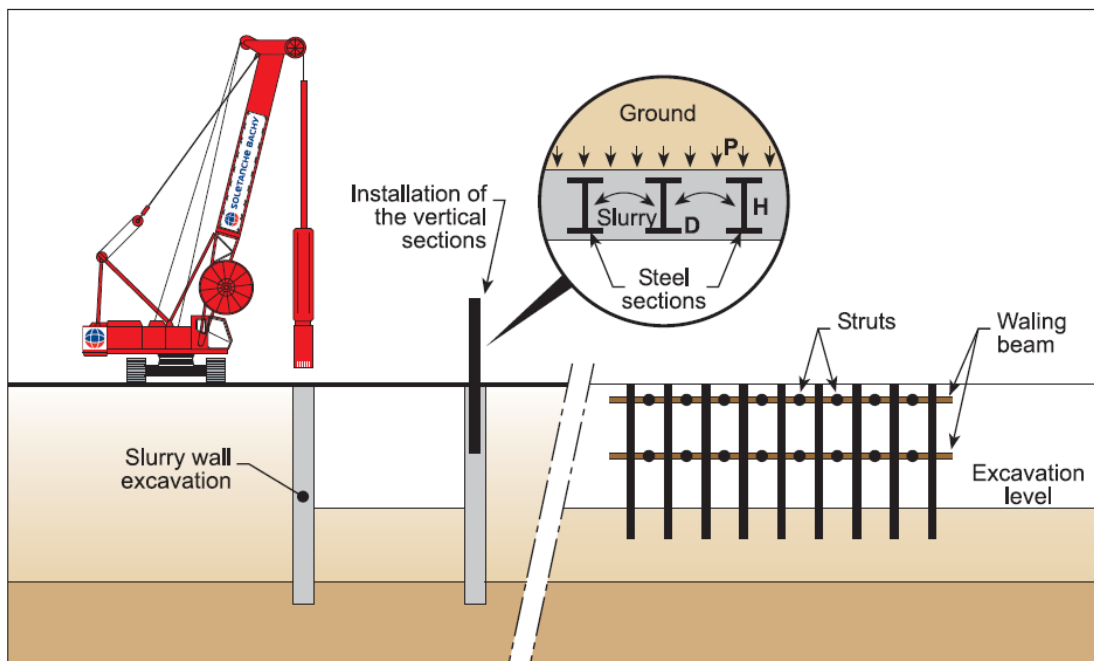
A berlini dúcolattal megegyező működésű szerkezet, amelynél az acél tagokat jet habarcsosított oszlopokba helyezik. Tekintettel arra, hogy a jetelt talaj szilárdulásáig igen sűrű folyadék, a behelyezésre kerülő acétagok mérete - függetlenül a jet oszlop méretétől - korlátos. Általában a fúrószárral átjárt függély és annak közvetlen, 15-20 cm átmérőjű környezete alkalmas az acétag befogadására. A megkívánt teherbírás így az acétagok kiosztásának megfelelő megválasztásával érhető el. Talajkörnyezettől függően a jet oszlopok 60-120 cm átmérővel készülnek. Az átmérőnél 10-20 cm-rel kisebb osztástávolság biztosítja a vízzárást, így a hagyományos berlini dúcolathoz képest nagy előnye a jet-grouting falaknak, hogy vízzáró kivitelben is készíthetők. További előny, hogy az acétagokat szilárd „talajbeton” veszi körül, így a berlini dúcolat esetében szükséges utólagos furatkitöltés elmarad, valamint, hogy egymást metsző oszlopokból álló kivitel esetén pallózásra sincs szükség.



9. ábra: Acétag beemelése jet-grouting falba

2.3.3. Erősített önszilárduló zagyfal

Az ún. erősített önszilárduló zagyfalak vagy ún. erősített bentonit-cement falak tulajdonképpen a Berliini dúcolatok tartószerkezeti és a résfalak vízzárási tulajdonságait egyesítik. A falpanelek kiemelése a réseléssel megegyező markolósos technológiával és zagy megtámasztással történik. A kívánt markolási mélység elérése és az acél erősítés elhelyezése után azonban nem kerül beton a zagy helyére, hanem a cementtartalmának köszönhetően megszilárduló zagy biztosítja a fal textúráját és vízzárását. A fal tartószerkezeti teherbírását a méretezett, jellemzően 1-2m-es osztásközzel elhelyezett acél-szelvények adják. A 28 napos korban a keverék típusától és adagolásától függően változó, de jellegzetesen 0,5-1,4MPa minimális nyomószilárdságú zagy pedig az erősítő elemek között a falra adódó föld- és víznyomások boltozati hatás révén az erősítő elemekre való átadását biztosítják.



10. ábra: Erősített önszilárduló zagyfal kialakításának sematikus ábrája

Jellemzően legfeljebb 7-10m mélységű, ideiglenes, kvázi-vízzáró munkatér határolási feladatok optimális technológiája, amennyiben a megtámasztott oldalon nincsenek jelentős felszíni terhelések vagy süllyedésre érzékeny szerkezetek. Az erősítő elemek szükség esetén passzív, vagy kis feszítőerejű horgonyokkal, esetleg mellgerenda mentén elhelyezett acél dúcolatokkal támogathatóak.

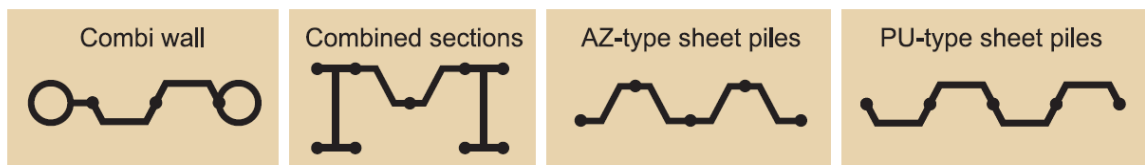


11. ábra: Erősített önszilárduló zagyfalas munkatérhatárolás kivitelezése az acél erősítőelemek közötti, vékony acéllemez felületvédelemmel

2.3.4. Szádfal

A szádfal egyedi, jellemzően 0,3-0,8m szélességű szádpallók egymáshoz kapcsolódó, folytonos falat képező rendszere, amelynél az egyedi elemeket veréssel, vibrálással vagy sajtolással juttatják a talajba. A szádpallók anyaga jellemzően acél, de a lehajtási technológia fejlődésének köszönhetően, elsősorban végleges funkcióval, vasbeton szádfalak is készülnek. Az acél szádpallók, hornyolt kialakításuknak köszönhetően víztömegek kizárására alkalmazhatóak. A szádpallók teljes egészében visszahúzhatóak, így ideiglenes szerkezetként környezetbarát, gazdaságos megoldást jelenthetnek. Elsősorban vízépítési környezetben, például vízi munkaterek kialakítására, partfalak biztosítására alkalmazzák elterjedten. Városi környezetben, a lehajtással járó zaj, illetve vibráció környezetterhelése miatt ritkábban alkalmazható.

Készülhet konzolos falként, de egy vagy több sorban, mellgerenda mentén kitámasztva vagy kihorgonyozva is. A pallók vonalvezetése rugalmasan változtatható, így szinte tetszőleges alaprajzi geometria lekövethető vele. A pallók jellemzően Z vagy U keresztmetszeti kialakításúak, így biztosítva a falszerkezet kellő merevségét.



12. ábra: Horgonyzott és dúcolt szádfal (felül) és jellegzetes szádfal elemtípusok keresztmetszeti kialakítása (alul)

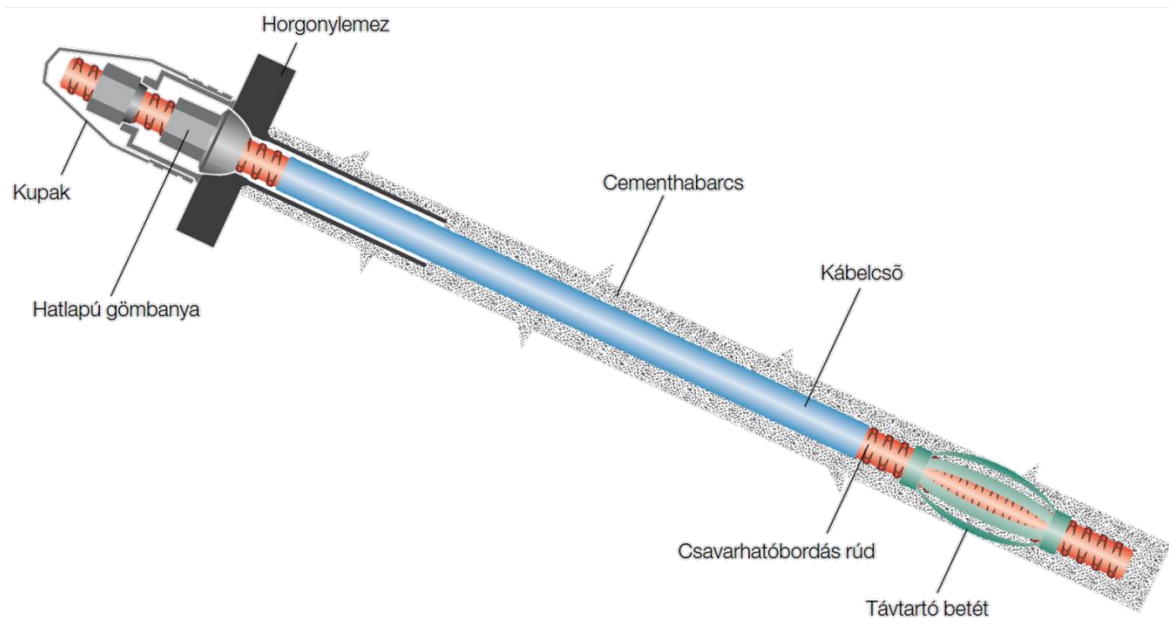
2.4. Megtámasztó szerkezetek

2.4.1. Fúrt, injektált talajhorgonyok

A horgony a megtámasztott szerkezetről átadódó húzóerőt a teherviselő közegre továbbítani képes szerkezet. A leggyakrabban alkalmazott merevrudas vagy pászmás horgony a befogási horgonyhossz mentén a habarcstest közvetítésével adja át a húzóerőt a környező talajra. A horgonyszárnak a horgonyfej és az injektált bekötési szakasz közötti hosszát szabad hosszának nevezzük.

Hazánkban fúrt, injektált talajhorgonyok szinte mindig ideiglenes funkcióval, legfeljebb 2 éves élettartammal készülnek. Állandó, azaz 2 évnél hosszabb élettartamra tervezett, fúrt, injektált talajhorgonyok is készíthetők, melyek kialakítása elsősorban a szigorúbb korrózióvédelmi előírások és esetleg a fenntartás során történő horgonyerő ellenőrizhetőség és újrafeszíthetőség igénye miatt tér el az ideiglenes

verziótól. Állandó horgonyokat elsősorban partfalak megtámasztására, valamint hegyvidéki kőzetrézsűk biztosítására, esetenként hídfők stabilizálására alkalmaznak, így hazánkban a jövőben sem várható tömeges megjelenésük. Ennek megfelelően a továbbiakban elsősorban ideiglenes taljhorgonyokkal foglalkozunk.



13. ábra: Merev rudas ideiglenes taljhorgony

Munkagödörben legszabadabban akkor végezhető építési tevékenység, ha a munkagödör teljesen nyitott, a függőleges anyagmozgatást semmi nem akadályozza. Ez az állapot hátrakötésekkel, jellemzően taljhorgonyokkal érhető el, ezért amennyiben a talaj-környezet teherbírása lehetővé teszi, úgy a munkaterek partfalait megtámasztó szerkezeteit első sorban horgonyokkal gyámolítják. Horgonyzott szerkezeteket ezen kívül természetes lejtők, sziklafalak, bevágások biztosítására használunk. Alkalmazásuk rézsűk esetén ott célszerű, ahol:

- blokkszerű omlásokat, repedezett, málló sziklaoldalok mozgásait kell megállítani,
- más támszerkezetek – elsősorban az egyenetlen terepadottságok és a sziklás talajok miatt – erre kevésbé lehetnek alkalmasak,
- a horgonyzásra jó lehetőséget adnak az elérhető távolságban fekvő jó teherbírású talajok, kőzetek.

Taljhorgonyokat csak az építési projekt, a horgony szerkezeti követelményei és az altalaj geotechnikai tulajdonságainak alapos ismeretében lehet hatékonyan megtervezni. A horgonyok vizsgálata és a tervezési paraméterek igazolása az építési eljárás nélkülözhetetlen részei, hogy ezáltal a szerkezetek hatékonyak és gazdaságosak legyenek. A horgonyzott szerkezetek esetében nagy figyelmet kell fordítani arra a

talajzónára is, amelybe a horgonyok kerülnek, beleértve e terület geotechnikai adottságainak és tulajdonjogi viszonyainak ismeretét is, illetve a horgonykészítés kedvezőtlen hatásait.

A horgonyzott szerkezetek részei:

- teherviselő horgonyok, melyek feladata a földnyomásokat kiegyensúlyozó, a fenyegető lejtőmozgásokat megállító erők áthárítása a potenciális csúszólap mögötti talaj- vagy kőzetzónákra,
- teherátadó és kitöltő elemek, melyek feladata a horgonyerők és a lejtőfelszín közötti teherátadás, a lejtő közvetlen megtámasztása, illetve a teherhordó elemek közti felületek zárása.



14. ábra: Hézagos cölöpfal horgonyzási munkái

Horgonyokat jellemzően a vízszintessel $15-30^\circ$ hajlással, legfeljebb 25-30m hosszal készíteneek. A horgonyok alsó 4-9m hosszúságú szakasza injektált. A horgonyok szabad és injektált szakasza is legalább 4m hosszúságú, így a legrövidebb horgonyhossz 8m. A vízzáró szerkezetek esetén a külső talajvízszintnél mélyebb döfésponttal gyámolító horgonyok kivitelezése külön figyelmet igényel. 0,5-1,0m szintkülönbség még különösebb gond nélkül kezelhető. 3,0-4,0m szintkülönbség nagy óvatosságot kíván

a művelet, de rutinszerű a kivitelezés. E feletti szintkülönbség már rendkívüli odafigyelést és magasszintű technológiai felkészültséget igényel.

A kivitelezési munkák előfeltétele a tervező és szakkivitelező által közösen véglegesített, jóváhagyott kiviteli terv, a jóváhagyott technológiai utasítás, a jóváhagyott minősítési és mintavételi terv. A technológiai utasításnak részletesen és egyértelműen tartalmaznia kell a horgonyzáshoz végzendő terep-előkészítést vagy munkaszint képzést, a fúrási technológiát (különös tekintettel a furat állékonyságának biztosítására), a horgonyszerkezet jellemzőit, a korrózióvédelem és habarcskitöltés módját. Meg kell határozni a műveletek időbeliségét és a horgonyok készítési sorrendjét is.

A kivitelezés során a horgonyok előfeszítése egyben ellenőrző jellegű elfogadási vizsgálat, de ez a tervezés befejező fázisának is tekinthető. Ennek céljai a következők:

- igazolni, hogy a horgony képes megtartani a vizsgálati terhet,
- meghatározni a horgonyszár szabadon elmozduló hosszának elméleti értékét,
- biztosítani, hogy a záróteher a tervezési teher legyen, kizárva a súrlódást,
- meghatározni a kúszási vagy az ernyedési jellemzőket a használhatósági állapotban, ha szükséges.

Elsősorban fúrt, injektált, előfeszített horgonyokat célszerű alkalmazni, megoldva a tervezett élettartamra az acélelemeknek az MSZ EN 1537 szabványban előírt korrózióvédelmét, figyelembe véve a talajkörnyezet agresszivitását. A horgonyszár az MSZ EN 1992 és MSZ EN 1537 előírásainak megfelelő profilozott vagy bordás acélrúd, kötélpászma vagy nyomott acélcső lehet. A védőcsövekre és azokon belül vagy kívül lévő habarcsokra vonatkozóan be kell tartani az MSZ EN 1537 vastagsági előírásait. A horgonyban alkalmazott habarcsok tervezésekor figyelembe kell venni a talaj agresszivitását, s nem szabad a feszítőacéllal érintkező nagy szulfidtartalmú cementet használni. Adalékszereket szabad használni a bedolgozhatóság és a tartósság javítása, a vízkiválás és a zsugorodás csökkentése és a szilárdulás gyorsítása végett. Műgyantát és műgyanta habarcsot is szabad használni a talajhorgony készítésekor cementhabarcs helyett, ha használhatóságukat igazolják. Ahol a talaj- és kőzetjellemzők miatt a habarcskitöltéskor nagymértékű veszteség várható, előzetes kitöltést indokolt alkalmazni. A horgonyszárak habarcsstakarása legalább 10mm legyen, ezt távolságtartókkal kell biztosítani.

Ideiglenes horgony alkalmazására mutat példát az 15. ábra, mely az M0 útgyűrű Anna-hegyi bevágásánál készített hézagos cölöpfal építés közbeni állékonyságát szavatolja. Végleges állapotban a horgonyok szerepét az elé kerülő kőtámasz (máglya fal) biztosítja.

Az előfeszített horgonyok esetén a horgonyfejek kialakítása teszi lehetővé a horgonyszár vagy rúd megfeszítését, próbaterhelését és zárását, valamint – ha szükséges – a kioldását, tehermentesítését majd újrafeszítését.

Becsavart vagy befeszülő mechanikus horgonyok is alkalmazhatók, elsősorban kőzetek esetében.



15. ábra: M0 útgyűrű - horgonyok előfeszítés előtt

A kivitelezés műszaki megfigyelése és a minőség-ellenőrzés ki kell, hogy terjedjen a horgonykészítési műveletek ellenőrzésére és a kapcsolódó jegyzőkönyvek folyamatos ellenőrzésére. Valamennyi horgony fúrásáról, injektálásáról és előfeszítéséről jegyzőkönyvet kell készíteni. A horgonyok illetve a teljes horgonyzott szerkezetek megfigyelési módszere lehet szemrevételezés, a horgonyerő mérése, a lejtő vagy a szerkezetek mozgásmérése (geodéziai módszerrel vagy inklinométerekkel).

2.4.2. Acél csőtámaszok

A munkatér határolások közel derékszögű sarkaihoz közel eső vagy egymástól nem túl távol eső szemközti falszakaszainak összetámasztására leggyakrabban acél csődúcok alkalmazhatóak. Hazai viszonyok között ilyen megtámasztások alkalmazása általában akkor gazdaságos, ha talajhorgonyok készítésére, pl. nem megfelelő altalajviszonyok vagy már beépített szomszédos földalatti terek miatt, nincs lehetőség vagy a tervezett munkatér 15-20m-t meghaladó mélysége és a szomszédos, jelentős felszínmozgásoktól védendő szerkezetek jelenléte miatt a horgonyokkal nem építhető kellően merev, alacsony deformációkat szenvedő falszerkezet. Ennek köszönhetően elsősorban szűk munkateretek, pl. közúti vagy gyalogos aluljárók, kis alapterületű vízépítési műtárgyak vagy nagyon nagy mélységű városi munkateretek, pl. metróállomások támaszrendszereként népszerű. Ugyan munkatéren belüli munkálatokat a földkiemeléstartól, a belső szerkezet építéséig jelentősen nehezíti, mégis hazai előtérbe

kerülésük várható az egyéb megtámasztási módokhoz viszonyított alacsony élőmunka-igényük, gondos tervezés esetén való újra-felhasználhatóságuk, valamint a horgonyzás, elsősorban sűrűbb beépítettségéből adódó mind gyakoribb ellehetetlenülése miatt.

Az acél csőtámok általában a munkatérhatároló falak felső síkján vagy közbenső szintjein húzódó teherelosztó fej vagy mellgerendákhoz kapcsolódnak, így egyetlen dúc-elem több falelem (rés-panelek, cölöpök, szádpallók, stb.) megtámasztására szolgál. A fal és a dúc-elem merőleges találkozási pontja optimális, de speciális esetben akár egymással 35 fokos szöget bezáró fal és dúc-elem is csatlakoztatható egymáshoz. Ennél élesebb szög esetén, amellyel, hogy a dúc-elem kevésbé hatékonyan veszi fel a falról ráadódó terheket, a csatlakozás mentén fellépő nyíróerők felvétele is nehezen valósítható meg. Lehetőség van döntött, pl. a munkatérhatároló fal elé valamilyen alapozásra támasztott, a vízszintessel akár 45 fokot bezáró dúcok kialakítására is.



16. ábra: Mellgerendával ellátott, toldott acél sarokdúcok

Az alkalmazott acél dúcok ipari forgalomban kapható, S235-S355 szilárdságú 30-150cm átmérőjű, kör keresztmetszetű szerkezeti acélelemek, melyek szükség esetén egyedileg erősíthetők, pl. acél bordákkal kihajlás ellen megerősíthetők. A szállítási lehetőségek miatt jellemzően 12m, speciális esetben 14-18m hosszban készülnek. Akár 30-40m hosszban is beépíthetők, mely esetben több csőelem tengelyirányú toldásával, esetleg lokális, pl. előre elkészített cölöpre való letámasztásával valósíthatók meg. 10-15m-t meghaladó hossz esetén már nagyon meghatározóak a

hőtágulásból eredő tengelyirányú nyomóerők, melyekre a dűcelemet méretezni kell. A hőmérsékleti hatások enyhítése céljából a nagy fesztávú dűcolatok fehér festése szükséges. A dűcelemek fal-szerkezettel való kapcsolata jellemzően a dűc homlokleméhez kapcsolódó fűrt-ragasztott rögzítő elemekkel, esetleg előzetesen a falszerkezetbe kerülő, pl. bele betonozott homlokleméhez való rögzítéssel történik. Lehetséges a dűcelemek tengelyirányában működő hidraulikus sajtókkal való kiegészítése, mellyel a dűcok, horgonyokhoz hasonló előfeszítése érhető el.

2.4.3. Támaszfödém (milánói módszer)

Általában az építési idő lerövidítése teszi szükségessé, hogy épületeknél a fel- és alépítményi szerkezeteket egyidőben, párhuzamosan kivitelezzék. Ilyen helyzetben nyújt megoldást, ha a földmegtámasztó szerkezeteket a tervezett létesítmény alépítményi részén a végleges földemekkel dűcolják ki. Előbbihez hasonló körülményt jelent, ha mélyépítési műtárgyak (metróállomások, aluljárók, stb.) építésekor a környezet legkisebb zavarása, a rendezett felszín mielőbbi helyreállítása érdekében az elkészült zárófödém alatt történik a műtárgyépítés.

Miközben így az építési idő lerövidül, illetve a környezet zavarása javarészt megszűnik, számtalan technikai probléma vár megoldásra, amelyek közül néhány jellemzőt az alábbiakban felsorolunk.

- A támaszfödém alátámasztását (végleges pillérek) előre, takarásban kell elkészíteni. A takarásban készülő szerkezetek lehetséges készítési pontossága nagyságrenddel tér el a hagyományos szerkezetépítési pontosságtól.
- A földkitermelést jellemzően a támaszfödém alatt, szűk térben kell végezni.
- A zárt munkatér szellőzését, bevilágítását biztosítani kell.
- Az előre elkészítésre kerülő függőleges szerkezetekhez (végleges pillérek) utólag kell kapcsolni a földemeket.
- Az alépítmény falai utólag készülnek, már elkészült földemek takarásában, így az esetleg szükséges monolitikus kapcsolatok csak nehézségek árán alakíthatók ki.
- A támaszfödémek alkalmazásának előnye ugyanakkor, hogy a földemek zsaluállványzat nélkül, földre fektetve épülhetnek. Szintén előny a földemtámaszok biztosította nagy merevség.

2.4.4. Passzív hátrakötés

Az ún. passzív horgonyok lényege, hogy a falszerkezet megtámasztását egy az általa megtámasztott földtömeg mögött kellő távolságban elhelyezkedő szerkezethez, pl. egy másik falhoz vagy cölöpsorhoz kapcsolódó, húzóerők felvételére alkalmas elem

biztosítja. A megtámasztott fal tekintetében annyiban tér el a feszített horgonyokhoz képest, hogy feszítőerő hiányában a fal várható mozgásai nagyobbak, jellemzően néhány centiméteres nagyságrendűek.

A passzív horgonyok végleges szerkezetként készülhetnek vasbetonból vagy speciálisan erre a funkcióra tervezett, korrózióvédelemmel ellátott, nagyszilárdságú acél rúdelemekből. Ideiglenes szerkezetként gyakran készülnek egyéb funkciókra is népszerűen alkalmazott nagyszilárdságú acél termékcsaládok elemeiből.

Alkalmazása különösen partfalak megtámasztó elemeként vagy vasbeton kivitelben közúti, nyitott aluljárók mélyebb szakaszainak erősítésére gyakori. Városi környezetben, a jellemző helyhiány miatt ritkábban alkalmazható.



17. ábra: Cölöpfal hátsó cölöpsorhoz véglegesen hátrahorgonyozva

2.5. Munkaplatform kialakítása

A speciális mélyépítési szerkezetek kivitelezéséhez alkalmazott nehéz munkagépek munkasíkon való biztonságos közlekedését és munkavégzését szavatolni kell. Sajnálatos, hogy egyelőre csak kivételes esetekben van mód arra, hogy valóban megfelelő alaprajzi méretű, kifogástalan teherbírású és vízelvezetésű munkaplatformot alakíthassunk ki. A szakszerű munkaplatform hiánya, a sajnálatos módon hazánkban is megtapasztalt gépdőlési vagy kritikus esetben gépborulásokra gondolva, elsősorban munka- és egészségvédelmi kockázatokat eredményez. Ezen felül minőségi és ütemtervi nehézségekhez vezethet, mivel például a nem megfelelő munkasík miatt jellemzően megnövekszik pontatlanul kivitelezett cölöpök aránya,

romlik a fúrasi, markolási függőlegesség tartása, és a betonozás során létrejövő zárványok esélye is növekszik, melyek utólagos, költséges és időigényes javításokkal kezelhetőek.

A munkaplatformok tervezése során, általános esetben, az alábbiak szempontok figyelembe vétele lehet szükséges:

- Megelőző munkálatok esetleges következményeinek értékelése – pl. régészeti vagy közműfeltárás, humuszmentesítés, stb. miatti friss, laza visszatöltések, felszín közeli heterogenitások vagy üregek jelenléte
- Közvetlenül kapcsolódó, meglévő szomszédos építmények alapozási síkja, illetve azok legalsó szintjének padlósíkja – állékonyság biztosításához szükséges takarás biztosítása
- Kivitelezendő szerkezetek szintje – pl. elkészült cölöpök munkasíkból kiálló armatúrái akadályozzák a további munkavégzést
- Alkalmazni kívánt technológia és gépek paramétereinek számításba vétele – önsúly, súlypont helyzete, üzemeltetés dinamikus terhei, stb.
- Termett felszínközeli rétegek (feltalaj) geotechnikai értékelése, szabványos minősítése
- Talajvíz szintje, illetve munkaplatformhoz viszonyított min. 1,0-1,5m-es, esetleg technológiától függően nagyobb mélysége
- Munkasík, mint földmű anyagként felhasználni kívánt talaj/melléktermék geotechnikai értékelése, szabványos minősítése
- Munkasík szükséges mélységi és alaprajzi kiterjedésének meghatározása teherbírasi és kivitelezés szervezési, organizációs szempontok együttes figyelembevételével
- „Erősítések”, pl. meszes/cementes stabilizáció, geoműanyagok beépítése lehetőségének számbavétele
- Beépítés menetének és helyszíni ellenőrzésének, minősítésének kidolgozása – pl. munkasík tömörítés eszközei, rétegvastagsága, teherbírás és tömörség mérési eljárása
- Fenntartás szempontjainak áttekintése – pl. vízelvezetés, fagyás-olvadás, aprózódás időszakos felülvizsgálat

Számtalan mélyépítési projekt rossz tapasztalata, az építőipari munkabiztonsági intézkedések javuló képe és a hazai és nemzetközi szakkivitelező vállalatok ez irányú törekvéseit látva mind inkább remélhető a javulás. Ennek egyik fontos lépése lehet, hogy a nehézgépek ideiglenes munkaplatformjának kialakítására vonatkozó terv, a mélyépítési, geotechnikai tervcsomag, felelős tervező által készített része legyen.

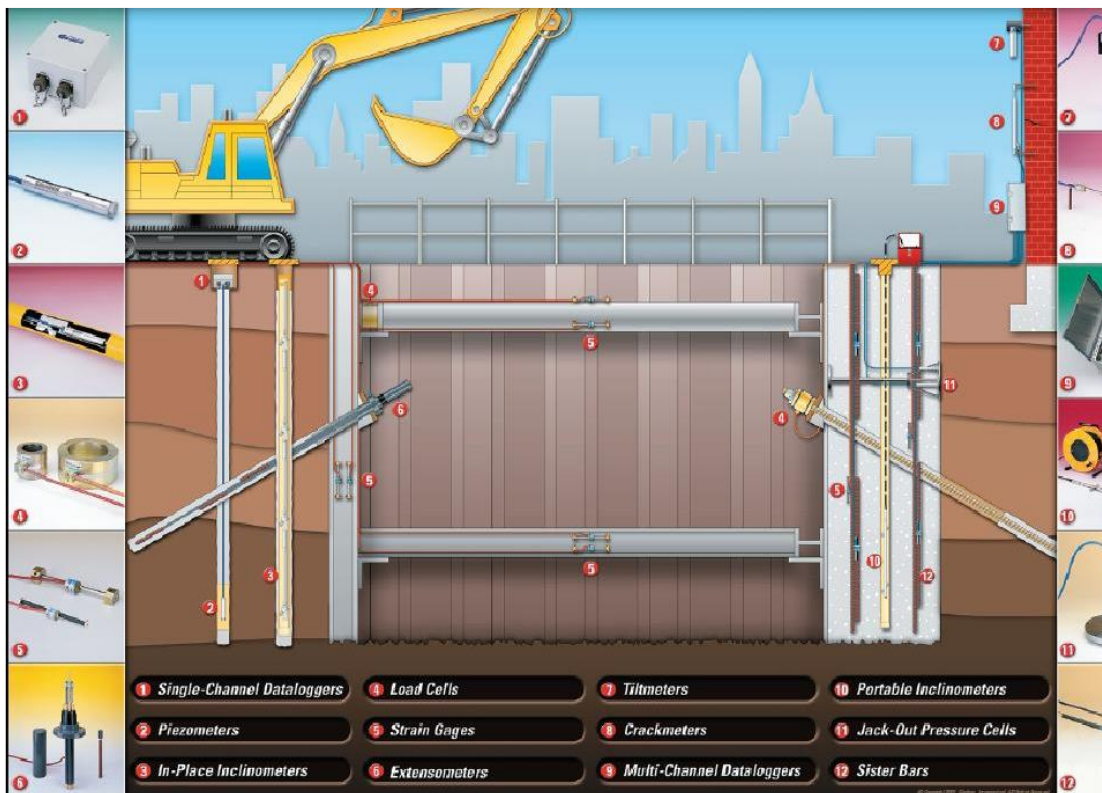


18. ábra: Egy elégtelen és egy ideális munkaplatform

Az előrelépést remélhetőleg gyorsítani fogja, hogy a témakört érintő „EN16228-2014 Fúró- és alapozóberendezések. Biztonság.” nevű szabvány ISO szintre emelkedése várható. A témakörben hasznos segítséget nyújthatnak az általános geotechnikai és útépitési földmű tervezés hatályos szabványai és előírásai. Konkrétabb iránymutatásért ajánlható a „BR470 – 2004. Working platform for tracked plant: Good practice guide to design, installation, maintenance, repair of ground-supported working platforms.” gyakorlati tervezési útmutató.

2.6. Monitoring

A teljes határoló szerkezet elkészülte után a falak deformációját geodéziai, inklinométeres vagy egyéb korszerű mérésekkel (pl.: 3D lézer szkennerek) lehet, illetve szükséges ellenőrizni. Hasonlóan a földkiemelés hatásvonalában álló építmények mozgásait követni szükséges. A falakba, jellemzően az armatúrához rögzítve lehetséges alakváltozásmérők, talajnyomás- és víznyomásmérők beépítése, melyek segítségével a fal körüli talajtömeg állapotáról nyerünk információt. Nagy fesztávú dűcoknál, nagy teherbírású talajhorgonyoknál célszerű lehet a kialakuló támaszerő mérése, mely jellemzően előre a támasztó szerkezet tengelyébe beépített nyomásmérővel lehetséges. A mélyépítési szerkezetek ellenőrzésére elterjedt monitoring eszközök széles skáláját összegzi a 19. ábra. Elsősorban az inklinométeres, valamint a dűc-, illetve horgonyerő mérő eszközök terjedtek el Magyarországon.



1. egycsatornás adatrögzítő, 2. piezométer, 3. telepített inklinométer, 4. nyomásmérő cella, 5. feszültségmérő, 6. extenzométer, 7. dőlésmérő, 8. repedésmérő, 9. többcsatornás adatrögzítő, 10. hordozható inlinométer, 11. földnyomás mérő cella,

19. ábra: Monitoring mérési módszerek

3. Modellezési kérdések

3.1. Bevezetés

Befogott és megtámasztott vagy hátrahorgonyozott falszerkezetek modellezése a geotechnikai tervezés egyik legösszetettebb feladatköre. Komplexitása elsősorban abban rejlik, hogy szakszerű megvalósításához geotechnikai, tartószerkezeti és kivitelezés technológiai részletek együttes ismerete szükséges. A modellezési eljárás részletei nagymértékben függenek a kiválasztott építéstechnológiától, annak konstrukciós elveitől és kényszereitől, illetve a kivitelező géplánc sajátosságaitól. Emiatt, legalábbis jelen dokumentum keretei között, nem lehetséges az előző fejezetben ismertetett összes faltípushoz és megtámasztási módszerhez kapcsolódó modellezési részletkérdés bemutatása.

Törekedtünk ugyanakkor arra, hogy a befogott és megtámasztott falként hazai viszonyok között leggyakrabban alkalmazott vasbeton rés- és cölöpfalak és az őket megtámasztó fúrt, injektált, feszített talajhorgonyok modellezésével kapcsolatosan minél több részletre kitérjünk. Röviden foglalkozunk a szintén gyakran alkalmazott acél csőtámok geotechnikai modellben való szerepeltetésének lehetőségével, viszont nem térünk ki a dúcok és csatlakozásaik méretezési modelljeire, mely elsősorban tartószerkezeti feladat. A fejezet célja így inkább, hogy áttekintést adjon a korszerű modellezési eljárások legfontosabb szempontjairól, lehetőségeiről és a kiválasztott technológiák példáin keresztül adjon iránymutatást egyéb lehetséges konstrukciók modellezésére.

Ahogy a 3.2. fejezetben részletesen olvasható, befogott és horgonyozott/dúcolt támszerkezetek esetén két potenciális modellezési metódus jöhet szóba: vagy a rugalmas ágyazás elvén alapuló vagy a végeselemes eljárást alkalmazhatjuk. A MMK Geotechnikai tagozat kiadásában 2018-ban megjelent Geotechnikai végeselemes modellezés nevű kiadvány 6. fejezete részletesen ismerteti a munkatérhatároló falak síkbeli végeselemes eljárásokkal történő vizsgálatát, sőt röviden a térbeli modellezési lehetőségeket is érinti. Emiatt az alábbiakban elsősorban a mindennapi gyakorlatban elterjedtebben alkalmazott rugalmas ágyazás elvén alapuló modellezéssel foglalkozunk és inkább a végeselemes modellezés ehhez képesti eltéréseire, a végeselemes modellre való váltás potenciális előnyeire vagy épp annak szükségességére hívjuk fel a figyelmet.

3.2. Modellezési eljárások

Befogott és megtámasztott falszerkezetek modellezésére, a számítás alapelveit tekintve, a következő eljárások jöhetnek szóba:

- Földnyomások előzetes felvétele a fal várható mozgásai alapján
- Falszerkezet Winkler-féle, rugalmas ágyazású modellezése
- Végeselemes eljárás

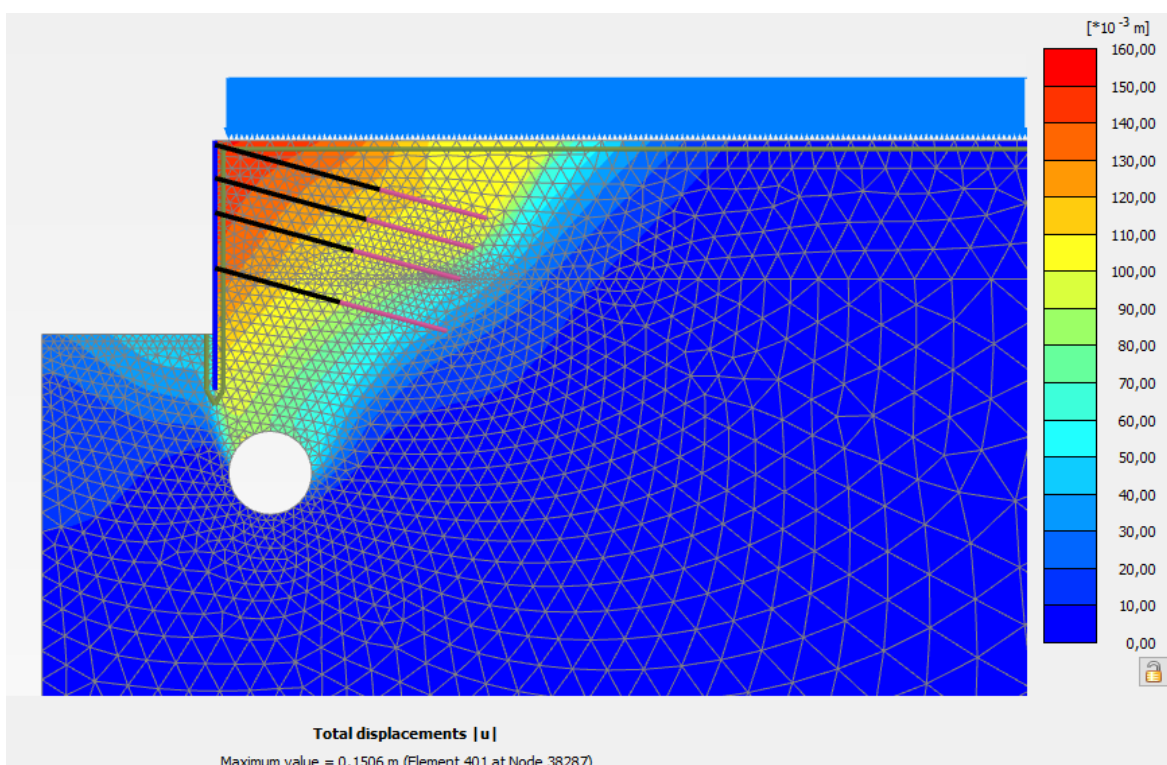
A földnyomások előzetes felvételén alapuló eljárások közül a Blum-féle eljárás említhető példaként, melyet a korábbi hazai MSZ 15003 szabvány is ajánlott. Az eljárás hátránya, hogy a földnyomást a mozgások valós mértékétől függetlenül választjuk meg abból a feltevésből kiindulva, hogy az aktív földnyomás mobilizálódásához szükséges elmozdulás kicsi. További hátránya, hogy az egymás utáni építési fázisok összefüggései nem modellezhetőek és a mozgások várható nagyságáról sem tudunk képet kapni. A számítógépes tervezés mindennapossá válásával, legalább is befogott, megtámasztott falak témakörében, ez az eljárás szinte teljesen eltűnt a gyakorlatból, legfeljebb homogén talajkörnyezetbe tervezett konzolos falak előzetes számítására ajánlható.

A rugalmas ágyazás Winkler-féle elvén alapuló analitikus eljárásokban a gerendaként leírható falelemmel kölcsönhatásba kerülő földtömegek vonalmenti, a megtámasztó szerkezetek (horgonyok, acél csőtámok, kapcsolódó vasbetonszerkezetek) lokális rugókkal modellezhetőek. A befogott és/vagy megtámasztott munkatérhatároló falak ilyen koncepció szerint előálló, sematikus statikai modelljeit szemlélteti az 20. ábra.

A rugóállandókon, azaz ágyazási tényezőkön alapuló számítási eljárás a szerkezetre ható földnyomást az elmozdulás függvényében adja meg, melyet diagramok, táblázatok, illetve lineáris rugómodell alapján lehet felvenni, a talaj szilárdsági tulajdonságainak és esetleg a fal hajlítási merevségének is függvényében. A 21. ábra a lineáris rugómodell alapelvét szemlélteti. A földnyomás értéke az aktív és passzív határállapotban van korlátozva, így az eljárás tulajdonképpen lineárisan rugalmas, tökéletesen képlékeny talajmodellt alkalmaz. A megtámasztó szerkezetek lokális rugói pedig hagyományos statikai, szilárdságtani összefüggések alapján határozhatóak meg. A falra ható további erőhatások – pl. felszíni terhek – a hagyományos földnyomás-elméletek és a különböző analitikus feszültségsterjedési feltevések segítségével vehetőek számításba.

Ezt az iterációs számítási eljárást, melynek végén a földnyomás és a hozzá tartozó elmozdulás összhangban van, alkalmas befogott támszerkezetek egymást követő építési fázisokat is leíró modellezésére és hitelesen számíthatjuk a szerkezetek várható elmozdulásait is. Ezen elven működik a hazai gyakorlatban népszerű Geo5

modellezhetjük. Sőt a modellbe építhetők a támszerkezetet körülvevő egyéb szerkezetek, pl. a felszíni épületek, alagutak vagy egyéb földalatti létesítmények is. Ilyen programokkal lehetőség van a mozgási mechanizmusok, várható viselkedések pontosabb megismerésére, az építési fázisok analizálására, a talajok viselkedését jobban leíró, bonyolultabb anyagmodellek alkalmazására. A két- és háromdimenziós végeleemes szoftverek (pl. Plaxis, Midas, ZSoil) megadják a szerkezet és a környező talajzóna várható mozgását, számíthatjuk velük a szerkezetek igénybevételeit, és a teljes rézsű általános állékonyságának ellenőrzésére is alkalmasak, egyetlen modellt vizsgálva.



22. ábra: Meglévő alagút körüli mozgások a munkatérhatárolás körül végeleemes modellel számítva

Viszonylagos egyszerűségük, gyors alkalmazhatóságuk, könnyű ellenőrizhetőségüknek köszönhetően a mindennapos gyakorlatban, a rugalmas ágyazású elvén alapuló szoftverekkel való tervezés a legnépszerűbb, mely egyéb földalatti szerkezetekkel nem kölcsönható és akár 15-20m mélységű munkaterek esetén is megbízhatóan alkalmazható a falszerkezet igénybevételeinek meghatározására, és kellő óvatossággal, a várható mozgások és emiatti felszínsüllyedések meghatározására. Összehasonlító tapasztalat hiányában azonban 15-20m-t meghaladó mélység esetén célszerű lehet végeleemes kontrollszámításokat végezni, hiszen ilyen volumenű munkaterekre, legalábbis hazai viszonyok között, már kevesebb az építési tapasztalat, így nehezebben megítélhető, hogy a rugalmas ágyazás elvén számított viselkedési mechanizmus mennyire reális.

Érdemes megjegyezni, hogy a 2D végeelemes eljárásokkal kapcsolatosan gyakori vélekedés, hogy a munkatérhatároló fal mozgásait és igénybevételeit, mind a valósághoz, mind a rugalmas ágyazás elvén számítottakhoz képest túlbecsülik. A vélekedésnek a korábban elérhető némileg egyszerűbb (például HS) talajmodellek alkalmazása esetén jogos alapja lehetett, melyet azonban a HSsmall talajmodell alkalmazása a közeljövőben felülírhat.

Résfalas munkatérhatárolás modellezése			
Határállapot/Feladat		Rugalmas ágyazás (pl. GE05)	Végeelemes eljárás (PLAXIS)
ULS STR	Résfal tartószerkezeti tönkremenetele	a faligénybevétel számítható, a vasalás külön méretezendő	a faligénybevétel számítható, a vasalás külön méretezendő
	Résfal átszúródása a horgonyfejnél	külön tartószerkezeti vizsgálat vagy próbaterhelés alapján ellenőrizhető	külön tartószerkezeti vizsgálat vagy próbaterhelés alapján
	Horgonyszár szakadása	horgonyjellemzők megadásával a szoftver automatikusan ellenőrzi	horgonyelem folyáshatára definiálható
ULS GEO	Résfalat alul támasztó talajtömeg passzív földnyomásának elérése	a résfal előtti zónára ható nyomás és a lehetséges földellenállás szoftver által számított értékeinek összevetésével ellenőrizhető	kizárólag a fal előtti talaj szilárdságát redukáló "safety" számítással vagy az itteni földnyomás és a lehetséges földellenállás külön összevetésével ellenőrizhető
	Horgony befogási ellenállásának kimerülése	külön számítással vizsgálandó	a horgony injektált szakaszának előzetesen számított ellenállása bevihető a modellbe
	Általános állékonyság elvesztése	kiegészítő modulban választható analitikus állékonyságvizsgálati eljárással	"safety" általános állékonyságvizsgálati számítással
ULS HYD	Hidraulikus talajtörés	kiegészítő modulban analitikus számítással	kiegészítő Flow modulban bármely zóna hidraulikus gradiense számítható és megengedhetősége külön értékelhető
SLS	Repedéstágasság	a faligénybevétel számítható, a vasalás külön méretezendő	a faligénybevétel számítható, a vasalás külön méretezendő
	Oldalirányú elmozdulások, felszínüllyedések	kiegészítő empirikus módszerekkel a számított falmozgásból származtatva	a modellből közvetlenül kinyerhetők
	Beszivárgó vízmennyiség korlátozása	külön számítással vizsgálható	kiegészítő "flow" modul segítségével megállapítható

1. táblázat: Munkagödrök határállapotainak vizsgálati lehetőségei

A rugalmas ágyazás elvén alapuló eljárás alkalmazásának nehézsége ugyanakkor, hogy ágyazási tényező meghatározására nem készült kutatás a hazai talajok és jellegzetes falszerkezetek esetére, mint pl. a franciaországi Schmitt-féle eljárás, mely a talaj

presszióméteres modulusa és a fal hajlítási merevsége függvényében, egzakt módon megadja az alkalmazandó rugóállandó értékét.

Ahogy a bevezetőben is olvasható, az alábbiakban elsősorban a rugalmas ágyazás elvén alapuló eljárással foglalkozunk, mivel a következő években nem várható, hogy kiszorulnának sem a nemzetközi sem a hazai támszerkezet tervezési gyakorlatból. A modellezési eljárások áttekintése kapcsán idézzük az MMK gondozásában megjelent, már említett Geotechnikai végeselemes modellezés kiadvány 6. fejezetében szereplő táblázatot, melyben áttekinthető, hogy résfalas munkatérhatárolás méretezése során vizsgálni szükséges határállapotonként a rugalmas ágyazású, illetve végeselemes eljárások milyen lehetőségeket biztosítanak. A táblázat jelentős része egyéb más faltípusok esetén is érvényes.

3.3. Falszerkezet modellezése

A falszerkezetet mind a rugalmas ágyazás elvén alapuló, mind a végeselemes számítás során egy véges számú elemből álló, lineárisan rugalmas gerendaelemmel modellezzük, melyet a síkbeli modellre merőleges síkban 1m hosszúságúnak tekintünk. Térbeli modellek esetén természetesen már lemezelemekről beszélünk, de a bevezetőben említetteknek megfelelően, ezekkel jelen esetben csak érintőlegesen foglalkozunk. A fal diszkretizációjának mértékét, azaz a falat alkotó elemek magasságát, a legtöbb szoftverben tetszőlegesen állíthatjuk. Általában 20-40cm-es elemméret megfelelő, további finomítás a számítási idő jelentős növekedésével járhat, melyre csak akkor lehet szükségünk, ha esetleg valamilyen oknál fogva egy-egy nagyon vékony talajréteg modellezésére van szükségünk.

A falszerkezetet összesen 3 jellemzővel írhatjuk le:

- Fal felső és alsó pontjának geometriai koordinátái - azaz a fal magassága
- Fal inerciája - melyet folytonos falak esetén 1m széles és a fal valós vastagságának megfelelő vastagságú gerenda inerciájaként számíthatunk. Nem folytonos, pl. hézagos cölöpfalak esetén egy ekvivalens, a cölöpök osztásközét is figyelembe vevő inerciával vehető számításba, melyre a hézagos cölöpfal mintájában részletesen kitérünk.
- Fal anyagának merevsége, rugalmassági modulusa

Utóbbi paraméternek viszonylag jelentős hatása van a számítási eredményekre így érdemes néhány megjegyzést tenni: A mélyépítésben használatos magas betonminőség esetén, az MSZ EN 1992 iránymutatásai alapján a friss beton rugalmassági modulusa $E=30-33\text{GPa}$ körüli, mely aztán a beton korának előrehaladtával folyamatosan csökken $E=10,5-11\text{GPa}$ végértékig. Elsősorban a fal

igénybevételek hatására történő berepedését figyelembe véve, a nemzetközi szakmai közmegegyezés szerint $E=19-20\text{GPa}$ rugalmassági modulus vehető figyelembe speciális mélyépítési vasbetonszerkezetek, elsősorban résfalak és cölöpfalak számítása során. A témakörben, nyilvánvaló jelentősége ellenére, szakirodalmak alig lelhetőek fel, így érdemes kiemelni a befogott támszerkezetek méretezését szabályozó, hatályos francia, Eurocode-okkal konform NF P 94-282 (2009. március) számú szabvány vonatkozó fejezetében előírtakat, miszerint vasbeton falszerkezetekre:

- $E=20\text{GPa}$ vehető fel ideiglenes építési fázisokra
- $E=E_{cm}/3$ vagy $E=10\text{GPa}$ használható hosszú ideig fennálló terhelési esetekre, így pl. a fal végállapotára
- $E=30\text{GPa}$ használható rövid, sokszerű terhelési esetekre, így pl. szeizmikus határállapotok vizsgálatára

A végállapotra vonatkozó alacsonyabb, tulajdonképpen a beton kúszási végértékének megfelelő merevség számításba vétele, így némileg magasabb falmozgásokat és alacsonyabb nyomatéki igénybevételeket eredményez, melynek pl. az esetleges repedéstágassági méretezésben van szerepe. Hasonlóan a szeizmikus méretezés esetén, a fenti szabvány szerint számításba veendő magasabb falmerevség így nagyobb igénybevételeket eredményez, arra utalva, hogy az ütésszerű terhelések esetén a vasbetonnak nincs ideje alakváltozni, így igénybevétel formájában veszi fel azt. Egyelőre a legtöbb szoftver nem képes az egyes építési fázisok között változó falmerevség számításba vételére, így pl. a GEO5 és a PLAXIS sem.

Végeselemes modellek készítése során további paraméterek megadása is lehetséges, illetve szükséges:

- Fal térfogatsúlya – mivel a végelelemes modellben nem csupán vízszintes értelmű mozgásokat és erőhatásokat vizsgálhatunk, így a fal tömegét is definiálni szükséges. Ennek azonban jelentősége ritkán van befogott falak esetében.
- A PLAXIS végelelemes szoftverben egy határnyomaték megadásával a falra vonatkozóan is lehetőség van lineárisan rugalmas, tökéletesen képlékeny anyagmodell beállítására. Jellemzően azonban a tartószerkezeti méretezés során rugalmas állapot megtartására törekszünk, így ennek csak nagyon speciális esetekben, esetleg káresetek utólagos elemzése során vagy szeizmikus határállapotok vizsgálata során van jelentősége.

Bár elsősorban méretezési és nem modellezési tényező, de a teljesség kedvéért érdemes megjegyezni, hogy a fenn hivatkozott francia szabvány mélyépítési szerkezetek esetén a számításba vehető betonszilárdság értékének a redukcióját írja elő. A redukció

mértéke függ az építési technológiától (pl. betonozás cső védelmében vagy bentonitzagy alatt), a minőség-ellenőrzés mértékétől (készül-e szónikus integritásvizsgálat vagy sem) és a geometriai méretektől is. Pl. C30/37 szilárdságú résfal beton esetében, a hagyományos betonszerkezetek esetén figyelembe vehető 30MPa helyett általában csak 20-22MPa karakterisztikus nyomószilárdság figyelembevétele engedélyezett. A hazánkban hatályos szabványok részletesen nem taglalják ezt a kérdéskört, így a számításba kerülő szilárdság ilyen célú csökkentéséről tervezői hatáskörben lehet dönteni.

3.4. Talaj és szerkezet kölcsönhatásának leírása

A Winkler-ágyazás elvén felépített modellekben a vizsgált falszerkezet és az őt körülvevő talaj kölcsönhatásait, a falat vonalmentén megtámasztó lineárisan rugalmas, tökéletesen képlékeny rugókkal írhatjuk le:

- A kiindulási, a fal elmozdulása előtti „0” állapot felel meg a nyugalmi földnyomás állapotának.
- Képlékeny állapot felel meg a valamely kiválasztott földnyomás-elmélet alapján meghatározható aktív és passzív határállapotoknak.
- A nyugalmi és képlékeny állapotok közötti átmenetet egy konstans (esetleg bi- vagy trilineáris) rugóállandóval írhatjuk le, mely megadja, hogy egységnyi fal elmozduláshoz mekkora földnyomás változás (aktív irányba csökkenés, passzív irányba növekmény) tartozik.

A legtöbb szoftver több földnyomás-elméleti megközelítés alkalmazását is felkínálja, az alábbiakban a hazai talajokra leggyakrabban alkalmazottakat ismertetjük. A nyugalmi földnyomás állapotát jellemzően a Jáky-formulával írjuk le:

$$K_0 = (1 - \sin\Phi) * \sqrt{OCR}$$

ahol K_0 a nyugalmi földnyomási tényező, Φ a talaj belső súrlódási szöge, OCR pedig a talaj esetleges túlkonzolidáltságának mértéke.

Kohéziós, térfogatállandónak tekinthető talajok esetén esetleg a rugalmasságtan alapelveit elfogadva és a talaj Poisson tényezőjét szakirodalmi adatok alapján becsülve az alábbi összefüggéssel is számítható a nyugalmi földnyomás tényezője, mely ténylegesen közel rugalmasan viselkedő, túlkonzolidált talajok esetén használható:

$$K_0 = \frac{\nu}{1 - \nu}$$

Harmadik lehetőségünk, hogy helyszíni, pl. presszióméteres vagy lapdilatométeres mérésekre támaszkodva közvetlenül a nyugalmi földnyomási tényező értékét adjuk be

a szoftverbe, bár erre kevés hazai példa van, elsősorban az erre alkalmas in-situ mérések alacsony hazai népszerűsége miatt.

Az aktív és passzív földnyomási tényezők leírására célszerű olyan elméletet alkalmazni, mely képes számításba venni a következőket:

- talaj kohéziójának földnyomás csökkentő hatását,
- falsúrlódásnak a földnyomás eredőjének irányultságára gyakorolt hatását,
- térszín hajlását,
- felszíni terhelések jelenlétét.

A földnyomás-elméletek alkalmazásához az alábbi talajjellemzőket mindig meg kell adni:

- talaj nedves és telített térfogatsúlya,
- talaj belső súrlódási szöge és kohéziója, esetleg drénezetlen nyírószilárdsága.

A kiválasztott földnyomás elmélet típusától függően az alábbiak megadása lehet még szükséges:

- falsúrlódási szög értéke, általában a belső súrlódási szöghöz viszonyítva,
- eltérő földnyomási tényezők a súrlódási, kohéziós és felszíni terhelések komponenséhez.

A befogott falak szinte minden esetben függőlegesek, így ennek földnyomásra gyakorolt hatása nem lényeges. Hazai gyakorlatban befogott falszerkezetek esetén talán Coulomb aktív földnyomási formulája és Caquot-Kerisel passzív földnyomási formulája használatos, mely a fenti szempontoknak eleget tesz.

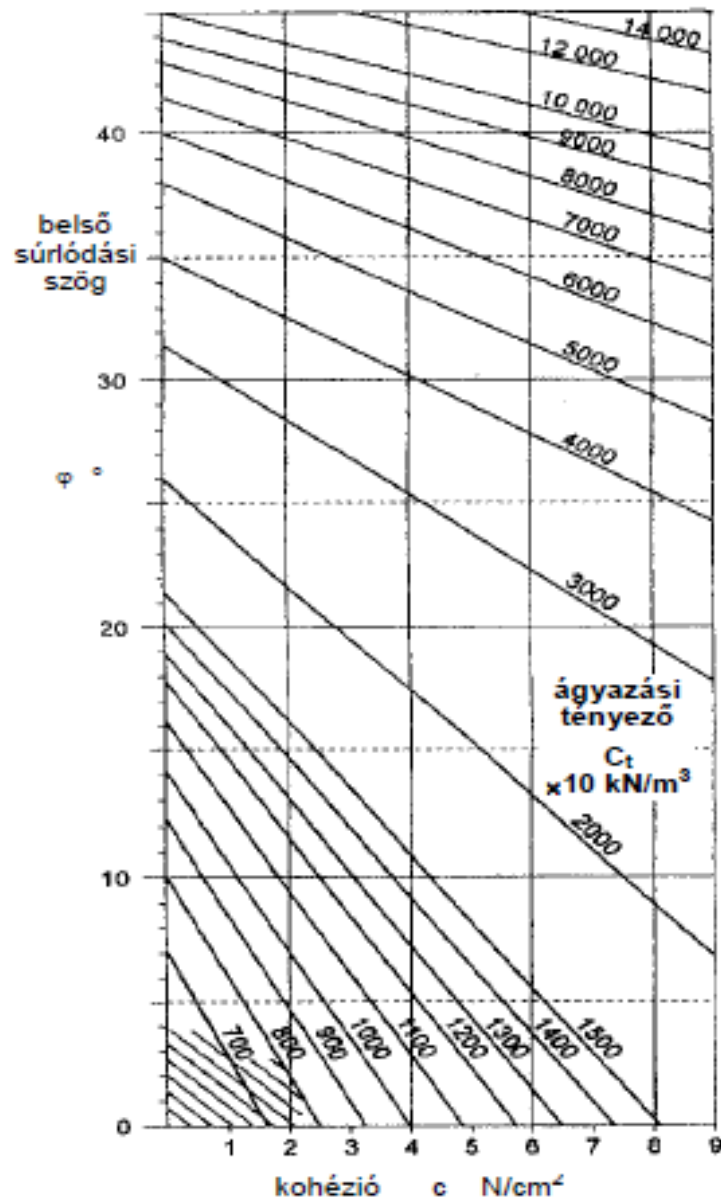
Hasonlóan lényeges és jelentős hatású kérdés, hogy a geosztatikus feszültségek számítása során a teljes vagy hatékony feszültségek analízisével dolgozunk. Hazai talajok esetén jellemzően a hatékony feszültségek analízisével dolgozunk/dolgozhatunk, de kőzetek vagy a drénezetlen nyírószilárdsággal jobban jellemezhető talaj-kőzet közötti átmenetet képező talajok (pl. Kiscelli agyag) esetén megfontolható a teljes feszültségek analízise is, amennyiben a talaj szilárdsági jellemzői ilyen módon jobban karakterizálhatóak.

A falsúrlódás és a belső súrlódási szög aránya függ a fal kivitelezési technológiájától és anyagától is. Vasbeton rés- és cölöpfalak esetén inkább 0,67, acél szádfalak vagy más előregyártott szerkezetek esetén inkább 0,5 használatos. A passzív falsúrlódás számításba vételénél néhány speciális esetben óvatosan kell eljárni pl. hátrakötött falak esetén, a horgonyfal esetében, ahol az aktív és passzív oldal magassága

megegyezik, így a passzív oldali földnyomás (térzín felé ható) függőleges komponensét nincs ami ellensúlyozza, így számításba sem vehető.

A nyugalmi és képlékeny állapotok közötti átmenetet leíró rugóállandó vagy ágyazási tényező felvételére több lehetőségünk van:

- Chadeisson diagramja
- Schmitt formula
- Tapasztalati adatok
- Egyéb formulák



23. ábra: Chadeisson diagramja

Hazai viszonyok között népszerű a viszonylag tömör talajokban készített 60-80cm vastag vasbeton résfalak mozgási mérési eredményein alapulva Chadeisson által az 1960-as évek elején szerkesztett alábbi diagram, mely a talaj belső súrlódási szöge és kohéziója függvényében adja meg az ágyazási tényező értékét. Óvatosságra ad okot ugyanakkor, hogy a diagram csak $c=90\text{kPa}$ kohézió maximális értékéig ad eredményt így keményebb talajok esetén csak a diagram képzeletbeli kiterjesztésével alkalmazható, melynek hitelessége kétségeket ébreszt. Emellett az ágyazási tényező elméleti megfontolások alapján elsősorban a talaj és a falszerkezet merevségének és nem a talaj nyírószilárdsági paramétereinek függvénye.

A módszer javítására 1994-ben publikált Monnet explicit, a fal hajlítási merevségét is figyelembevevő formulát mely elérhető pl. a GEO5 szoftverben is. Elterjedt még Schmitt formulája, melyet pl. az előző fejezetben hivatkozott francia szabvány is ajánl. A módszer hazai alkalmazásának hátránya, hogy a pressziométeres moduluson alapul, melyet itthon szinte egyáltalán nem alkalmazunk. Elérhetőek ugyanakkor egyszerű korrelációk a pressziométeres modulus összenyomódási modulusal való helyettesítésével, mely hazai viszonyok között is használhatóvá teszi a formulát. Ebben a formában érhető el a GEO5 szoftverben is.

Kiterjedt hazai kutatás hiányában gondos megfontolást igényel minden ilyen módszer alkalmazása, kockázatos lehet bármilyen szakirodalmi, a kereskedelmi szoftverekbe már automatikusan beépített eljárás alkalmazása annak ismerete és értékelése nélkül, hogy milyen típusú szerkezetre, milyen jellegzetes talajtípusokra dolgozták ki. Az ezekkel számított ágyazási tényezőket mindig célszerű összevetni korábbi projektek összehasonlító tapasztalataival.

Elsősorban méretezési kérdés, de a teljesség kedvéért megemlíjtük, hogy az MSZ EN 1997-1 ide vonatkozó melléklete alapján a támszerkezetek határállapotait a 2. tervezési módszer DA2* változata szerint kell ellenőrizni. Ekkor a parciális tényezőket az igénybevételekhez és az ellenállásokhoz rendeljük, azaz számításainkat karakterisztikus értékekből kiindulva hajtjuk végre és az így meghatározott igénybevételeket növeljük fel a parciális tényezőkkel. A földnyomások jelentős része a talaj önsúlyából keletkezik, ezért az állandó jellegű terhekhez tartozó parciális tényezőből lehet kiindulni. Az esetleges hatások figyelembe vétele kétféle módon történhet, vagy a karakterisztikus értékekből indulunk ki, és az igénybevételeket egy a hatások arányát figyelembe vevő parciális tényezővel szorozzuk fel, vagy pedig az esetleges terheket eleve a két parciális tényező arányával ($\gamma_G/\gamma_Q = 1,5/1,35 = 1,1$) felszorozva visszük be a modellünkbe.

Több szoftver, így a GEO5 is felkínálja egy minimális, a föld és víznyomásokat is számba vevő minimális vízszintes nyomás (pl. a függőleges geosztatikus nyomás 20%-nak

megfelelő) automatikus működtetését. Ez a lehetőség nem szabványos előírást fed le és jellemzően a hazai magas talajvizek miatt automatikusan teljesül, de magas kohéziójú talajkörnyezet és mély talajvíz esetén, a kellő óvatosság jegyében, érdemes lehet alkalmazása, még ha a vonatkozó szabványok nem is írják elő.

A végeselemes módszerrel dolgozva nem különítjük el a tervezés menetében a szerkezetet érő hatások megállapítását és a szerkezet méretezését, ugyanis a végeselemes modell létrehozásakor a fal mellett a fal körüli talajtömeget és az esetleges megtámasztásokat (horgony, dúc) is véges elemekkel modellezzük. Tehát a földnyomások végértéke és a talajrugó merevsége nem valamely általunk választott földnyomás elméleti megközelítés alapján definiált terhelésként működik, hanem a talajt és a falszerkezetet modellező véges méretű elemek kölcsönhatásaként kerül a számításba, függve az alkalmazott talajmodellek típusától és bemenő paramétereitől, melynek listája sokkal hosszabb, mint az imént a Winkler-modell kapcsán felsoroltunk, így terjedelmi okokból nem ismertetjük. Célszerű viszont megemlíteni, néhány olyan, befogott falak méretezése szempontjából esetenként lényeges geotechnikai jelenséget, melynek leírására korszerű végeselemes talajmodellekkel igen, a rugalmas ágyazás elvén működő modellekkel viszont nem vagy csak valamilyen modellezési trükk segítségével vagyunk képesek:

- Talajkörnyezet inhomogenitásai, mint pl. egy-egy ferde talajréteg vagy vető, a fallal nem közvetlenül érintkező, de aktív zónán belül talajlencse falra gyakorolt hatása, fal alatti gyenge vagy épp nyomás alatti réteg, stb.
- Tehermentesítési modulus – egy a szűz terheléshez tartozó merevségi jellemzőhöz viszonyított magas ágyazási tényező alkalmazásával törekedhetünk ennek számbavételére, ugyanakkor a tehermentesítési modulus egy laboratóriumi jellemzően egészen egzaktul kimérhető talajjellemző, az ágyazási tényező viszont nem.
- Szemcsés talajok dilatációja – a korszerű talajmodellekkel számításba vehető, rugalmas ágyazás elvén erre viszont nincs módunk.
- Talajok időfüggő tulajdonságai, konszolidációja – kötött talajok földkiemelés okozta expansziójának és ezzel összefüggésben a falra ható földnyomások kialakulásának időbeli elhúzódásának elemzése.

3.5. Talajvíznyomások modellezése

A földnyomások mellett a kvázi-vízzáró falszerkezetekre ható legfontosabb hatás, a talajvíz nyomása. A rugalmas ágyazás elvén működő szoftverekben, ennek számításba vétele a falra ható vízszintes irányú megoszló terhelések felvitelével van lehetőség, melyet a fal előtti és mögött vízszintek megadásával a szoftverek automatikusan

elvégeznek. Szükség lehet, egy ehhez képest módosított, pl. nyomás alatti rétegekben magasabb vagy manuálisan meghatározott áramlási erővel megnövelt vagy lecsökkentet víznyomások felvételére is, melyet vízszintes megoszló erőhatások felvitelével érhetünk el.

Lényeges, hogy a földmegtámasztó falakhoz gyakran kapcsolódó víztelenítési munkálatok tervezett menetével összhangban legyen a fal modellje. Például drénezett talajok és a fal előtti zónában sekély víztelenítő kút esetén esetleg a fal előtti passzív zónában felfelé tartó áramlás jön létre, mely a hatékony feszültségeket csökkentve a passzív földnyomásokat is csökkenti. Ennek számításba vétele lényeges lehet a fal méretezése során.

Másik jelentékeny kérdés a kemény, kötött, inkább drénezetlennek tekinthető rétegekben a talajvíznyomások számításba vételének szükségessége. A hatályos szabványok alapján ennek számbavétele szükséges, mivel a kohéziós talaj és a fal között az aktív oldalon esetleg kialakuló repedésbe bejuthat a talajvíz, így a víznyomás is kialakulhat, még ha ekkor a földnyomás és víznyomás együttes jelenléte tulajdonképpen nem jöhet létre.

Megemlíthető még a vízzáró alaplemezhez vízzáróan kapcsolódó befogott falszerkezetek végállapotbeli modellje kapcsán, hogy az alaplemez alatt és így a passzív talajrétegben kialakuló víznyomás, tulajdonképpen, mint felszíni terhelés kedvező, a passzív földellenállást növelő tényező lehet. Ennek érdemi szerepe nyitott, méterekkel talajvíz alatti alapozási síkú szerkezetek, pl. nyitott közúti aluljárók, esetén lehet. Ennek a jelenségnek a számításba vétele egy az alaplemez alsó síkján működtetett, a víznyomásnak megfelelő megoszló terheléssel lehetséges. Számításba vételének vállalhatósága inkább tervezési-méretezési, mint modellezési kérdés.

A végeselemes eljárás előnye, hogy a falszerkezet modellje viszonylag egyszerűen fejleszthető korszerű hidraulikai modellekkel, továbbá hogy szinte tetszőleges peremfeltételek esetén érvényes áramlási viszonyok, lokális nyomás alatti zónák hatását számításba vehetjük. Igaz ugyanakkor, hogy minden áramlási modell a számításba vett vízáteresztőképességi együttható értékének függvénye, mely azonban a geotechnikai számítások legbizonytalanabb paramétere, így ilyen modellek készítése csak jól ismert, gondosan és megbízhatóan karakterizált geotechnikai viszonyok esetén célszerű.

3.6. Megtámasztások modellezése

Befogott falszerkezetek megtámasztását a 2.4. fejezetben ismertetett technológiákkal biztosíthatjuk. A rugalmas ágyazás elvén működő számítási modellekben ezeket a

meztámasztásokat is pontszerű rugalmas meztámasztásokkal írhatjuk le. A talajhoz képest jellemzően nagyságrendekkel magasabb merevségük helyes felvétele mind a falszerkezet viselkedésének reális leírása céljából, mind a meztámasztó szerkezetben keletkező alakváltozás és erő helyességének szempontjából lényeges.

Síkbeli modellekkel a vizsgált fal egységnyi, a modell síkjára merőleges 1m széles zónáját vizsgálhatjuk. Emiatt mind a meztámasztás falhoz viszonyított alaprajzi és síkmetszeti irányultságát, mind a fal síkjával párhuzamos értelemben vett osztásközét számításba kell vennünk a vízszintes rugó merevségének felvételkor. És ugyanígy kell cselekednünk visszafelé, a falszerkezeti modell eredményeként adódó, a fal síkjára merőleges, folyóméterre viszonyított modellbeli támaszerők valós támaszerővé konvertálása során. Az ilyen konverziók alkalmazása egyszerű geometriai számításokkal és szögfüggvények alkalmazásával elvégezhető.

Megadva a talajhorgony geometriai adatait (szabad és injektált hossz, osztásköz, irányultság, dőlés), típusát (merevrudas, pászmás, stb.) és anyagjellemzőit, a legtöbb szoftver automatikusan elvégzi a falra merőleges irányultságú horgonyt helyettesítő rugó merevségének számítását, jellemzően az alábbi vagy hozzá nagyon hasonló összefüggés szerint.

$$C_h = \frac{\frac{F_h}{s_h + \frac{0.5 * F_h * L_{hsz}}{A_h * E_h}}}{\cos \alpha * L_h}$$

ahol

- $A_h * E_h$ a horgony normálmerevsége, mely a pászmagyártók által biztosított adatlapok alapján vehető fel,
- L_{hsz} a horgony szabad hossza, melyet vagy horgony próbaterhelési tapasztalatok vagy pl. horgony szabad hosszának és fél injektált hosszának összegeként adódik,
- F_h az injektált horgonytest és a talaj közötti súrlódási erő,
- s_h a súrlódási erő mobilizálásához szükséges elmozdulás, ami 3-6mm-re tehető általában,
- L_h a horgonyok alaprajzi értelemben vett osztásköze,
- α a horgony dőlése

Vízszintes belső kitámasztások és passzív hátrahorgonyzások merevségét a geometriai és minőségi paraméterek megadásával számíthatjuk a következő képlettel

$$C_d = \frac{A_d * E_d *}{B \cos \alpha * L_d}$$

ahol

- $A_d * E_d$ a megtámasztás vagy hátrakötés normálmerevsége (acél csőtám, beton földém, nagyszilárdságú acél merevrúd, stb.)
- B a megtámasztás összenyomódó hossza (jellemzően a munkagödör félszélessége a túloldali ellenerő számításba vételére) vagy a hátrahorgonyzás megnyúló hossza (jellemzően a horgony teljes hossza a hátrakötött fal és a horgony rögzítési pontja között)
- L_d a horgonyok alaprajzi értelemben vett osztásköze
- α a dúc irányultsága a falra merőleges síktól mérve

A fenti képletek kismértékű módosítást igényelnek, ha a horgony nem merőleges a falszakaszra vagy a dúc nem vízszintes.

A megtámasztások esetén lényeges annak értékelése, hogy a támasz két végén adódó támaszerők mennyibe térnek el egymástól. Jelentős eltérés lehet pl. hegyoldali bevágásba kerülő mélyépítési szerkezet támaszföldémjeit érő hatások esetén, vagy csak egyik oldalról nagy felszíni építményekkel terhelt csőtámaszokban. A fenti összefüggések ilyenkor a valós merevségek túlbecsléséhez vezethetnek, ezért összetett, a szemközti falakat és a megtámasztást is magába foglaló, jellemzően végeelemes modell készítése szükséges.

Támaszok merevsége a fentiek szerint vizsgálható és célszerű csuklós kapcsolatot modellezni, így a megtámasztás szempontjából a biztonság javára térünk el és a falra nem kerülhetnek nyomatéki igénybevételek a megtámasztásról.

Az acél dúcok kapcsán érdemes még megjegyezni, hogy nagyméretű, robosztus elemek esetén a dúcméretezést jelentősen befolyásolja a hőtágulás okozta erőnövekmény. A dúc helyén, a dúccal egyidejűleg egy normálerőt működtetve vizsgálhatjuk ennek a számításba egyébként nem szereplő erőnövekménynek a falra gyakorolt hatását, amennyiben valamilyen oknál fogva (pl. extrém hőmérsékleti körülmények, nagyon karcsú fal, nagyon puha talajkörnyezet) ez lényeges lehet a fal szempontjából.

A megtámasztások ilyen modellezése egyszerű feladatnak látszik, de elsősorban acél csőtámaszok esetén többszöri, a megtámasztás előzetes méretezésével összekapcsolt

iterációt igényel, hogy mind a vizsgált fal, mind a kiválasztott megtámasztó elem megfelelő legyen. Összetettebb feladatot jelent mellgerenda által összefogott dúrendszer helyettesítő merevségének meghatározása. Ilyen esetekben egy elkülönített modellben felépített dúrendszer elmozdulásai és a fal modelljéből számított erőhatások kapcsolt modellezése szükséges.

Végeselemes eljárással is lehetőségünk van a megtámasztások ilyen egyszerű, rugós támasszal való helyettesítésére, de jellemző, hogy inkább az alkalmazott szoftver adta lehetőségekkel élünk az egyes szerkezeti elemek modellbe építése során. Elsősorban a horgonyok kapcsán érdemes megjegyezni, ahogy az a már hivatkozott, „Geotechnikai végeselemes modellezés” kiadványban részletesen ismertetésre került, viszonylag szofisztikált modell kidolgozásával, hiszen az injektált testet mint egy köpenysúrlódás révén a horgonyerőt a talajra átadó cölöpelemként modellezhetjük, így az injektált horgonytest elmozdulásai, a horgony és a fal mögötti talajrétegek kölcsönhatásai a modellben automatikusan számításba kerülnek.

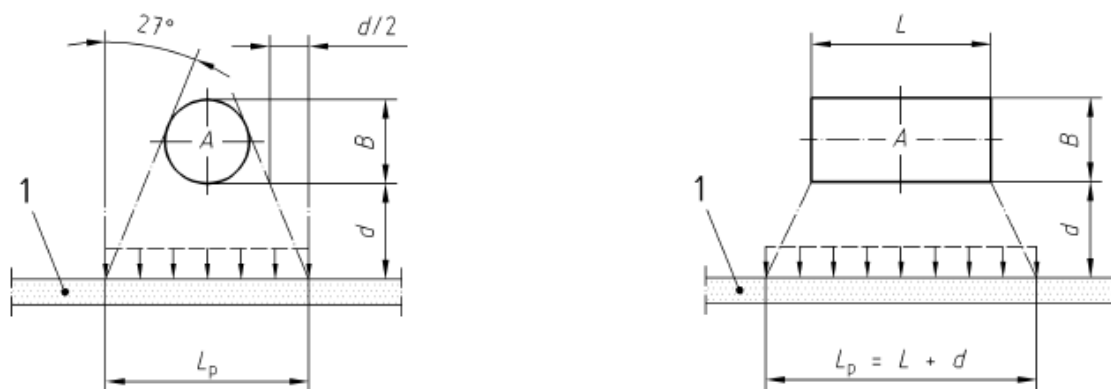
3.7. Egyéb terhelések leírása

A föld és víznyomásokon kívül a befogott falszerkezeteket méretezése során számításba kell venni a felszíni épületek, felszíni forgalmi vagy éppen organizációs terheket. Már ezek nagyságának becslése sem mindig egyszerű feladat, de alapos megfontolást igényel a terhek leírásának módja is.

A terhelések kiterjedését tekintve megkülönböztethetünk:

- Koncentrált terheket – melyeket a síkbeli modellben „szét kell kennünk” a modell metszetére merőleges értelemben vett vonalmenti teherré
- Vonalmenti terheket – melyeket a síkbeli modellben tulajdonképpen egy pontban működő teherként írunk le
- Sávyszerűen megoszló terheket – ilyenek például a forgalmi terhek vagy a felszíni építmények fal síkjával párhuzamos falainak terhei, melyeket a modell síkjára merőlegesen folytonosnak tekinthetünk
- Teljes felületen megoszló terheket

Amennyiben a vizsgált falszerkezet mellett közel koncentrált, pillérszerű terhelést működtetünk a síkbeli modellben, úgy érdemes valamely egyszerű, analitikus feszültségterjedési elmélet segítségével megvizsgálni, hogy a terhelés körülbelül milyen széles falszakaszt érint, esetleg szomszédos koncentrált terhelések hatása szuperponálódik-e valamely rövid falszakaszon.



24. ábra: Kör és téglalap alaprajzú terhelések és az általuk érintett falszakaszok (NF P 292 D3.3.1.)

A legtöbb szoftver, a terhelés kiterjedésének kiválasztásával automatikusan elvégzi a terhelésekből adódó földnyomás többletek számítását. Érdeemes azonban áttekinteni az adott beállításokhoz kapcsolódó feszültségterjedési elméletet, mert mind a falra jutó erő nagyságában, mind a falra jutó erő támadáspontjában jelentős eltérés adódhat ebből:

- alkalmazhatunk a rugalmasságtan, elsősorban Boussinesq eredményeire támaszkodó analitikus képleteket,
- vagy földstatikai megfontolások alapján választott feszültségterjedési elméleteket, melyek közül legismertebb Graux eljárása.

Előbbiek rugalmas, utóbbiak pedig az aktív határállapothoz tartozó képlékeny állapotokat feltételeznek. A rugalmas ágyazás elvén készülő számítások pedig rugalmas-képlékeny számítások, így nem lehet egyértelműen megadni, hogy melyik erőterjedési elv a helyes(ebb). Merve, pl. támaszfödémekkel megtámasztott falak és már a fal megvalósítását megelőzően működő, pl. épület súlyát leíró terhek esetén inkább a rugalmas állapothoz közelítünk, míg rugalmas, nagy alakváltozásokat szenvedő fal mellett működő ideiglenes, pl. organizációs terhek esetén inkább a képlékeny állapotot feltételező, földstatikai módszereken alapuló eljárások helyesek. A kérdés eldöntését befolyásolja még a felszíni teher szélessége és a vizsgált faltól mért távolsága is. Terjedelmi okok miatt nem tárgyaljuk részletesebben a témakört, mely részletesebben megismerhető pl. Schmitt és társai (1994) publikációjában.

A rugalmas ágyazás elvén működő modellekben a szeizmikus hatások számbavételére a közvetlenül a falra helyezett, mélységgel változó megoszló terhelések definiálásával van lehetőségünk. A falra ható szeizmikus többletterhelések szakirodalmi módszerekkel számíthatók. A szeizmikus többlet földnyomások számítására pl. az MSZ

EN 1997 által is ajánlott Mononobe-Okabe módszert, a többlet víznyomások számítására pedig pl. Westergaard módszerét alkalmazhatjuk, melyek automatikusan számolhatóak a GEO5 szoftverrel is.

A terhelések számbavételét tekintve jelentősen eltérnek a végeselemes eljárások, ahogy azt a 3.2. fejezetben áttekintettük. A végeselemes modellben nincs szükség a fentiekben sorolt szempontok elemzésére, hiszen a felszíni terhek talajbeli feszültségterjedése, a talajmodell beállításai alapján, automatikusan számítható. A szeizmikus állapot leírására is adnak egy második opciót a végeselemes szoftverek: a korszerű szoftverekben elérhető a pszeudo-statikus számítás, mellyel a vízszintes gyorsulásoknak megfelelő horizontális erőhatások statikus, időtényezőktől független modellben, de számíthatóak.

3.8. Építési fázisok szerepe

Az építési folyamat egyes lépéseinek számítási modellel történő helyes lekövetése a befogott és horgonyzott/megtámasztott falszerkezetek analízisének kulcskérdése mivel a falszerkezet egyes részeinek és a támaszelemek mértékadó igénybevételei más-más építési fázisban jönnek létre. Ez annak köszönhető, hogy a fal statikai váza, a merevségi jellemzői és a terhelési viszonyok építési folyamat során állandóan változnak a földkiemelések, horgony/támasz építések vagy éppen a beton kúszása miatt. Ennek okán mind az igénybevételek, mind az elmozdulások tekintetében egy a teljes tervezési állapotot (ideiglenes, állandó, szeizmikus, stb.) lefedő burkolóábra számítására törekszünk, melyeket aztán az egyes elemek tartószerkezeti elemek méretezése során eltérő kritériumokkal vetünk össze.

Általában nem tér el a rugalmas ágyazás elvén működő modellekkkel és a végeselemes számítással készülő modellek futtatandó építési állapotok listája, bár a végeselemes eljárással lehetőségünk van az egyes fázisok időbeliségének számításba vételére: Az ideiglenes építési fázisokban, kötött talajok esetén, általában nincs elég idő a mozgások kialakulásához, csak a végállapotban. A talaj áteresztőképességi együtthatóinak számbavételével, tulajdonképpen konszolidációs számítások készítésével az időfaktor tekintetbe vehető, igaz erre kevés gyakorlati példa akad, összetettsége, időigényessége és az ütemtervi bizonytalanságok miatt.

4. Méretezési kérdések

4.1. Stabilitás

A támszerkezetek globális dimenziói (horgonyhosszak, határoló fal talpsíkja) stabilitás-vizsgálattal ellenőrizhető. Hagyományosan a földstatikai stabilitásvesztés lehetőségét síkban és az alábbi esetekre bontva vizsgáljuk.

- Külső stabilitás,
- belső stabilitás,
- passzív megtámasztás.

A külső stabilitás vizsgálata során egy olyan, a horgonyokon kívül és a fal talpa alatt futó összetett csúszólapot keresünk, amely mentén számolva a stabilizáló és mobilizáló erők hányadosát a lehető legkisebb értéket kapjuk (ez lesz a potenciális mélycsúszólap). A támszerkezet globális dimenziói addig optimalizálhatók, mígnem a hányados a szabványos, vagy annál nagyobb értékű tényezőkkel elosztott, azaz DA-3 tervezési módszer szerinti nyírási paraméterek mellett 1,0-re adódik.

A belső stabilitás vizsgálata során Kranz-módszerével egy sík földék egyensúlya vizsgálandó, mellyel tulajdonképpen a horgonyok statikailag szükséges minimális hossza állapítható meg, hogy a horgonyok által a talajra közvetített többletfeszültségek az aktív talajzónán kívül legyenek. A földék kontúrvonala a fal függőlegesén, a horgonyok injektált szakaszának középpontján, a felszínig futó függőleges vonalon, illetve a felszínen halad. Az egyensúlyra vonatkozóan ez esetben is a szabványban előírt biztonságot kell megkövetelni.

A falak földkiemelési szint alatti befogási hossza mentén szükséges, hogy a lehetséges és a fal működésekor valóban kialakuló passzív földellenállás hányadosa a szabványos, vagy annál nagyobb értékűre adódjon.

Végeselemes modellezés esetén mód nyílik arra, hogy a fenti, esetekre bontott stabilitás vizsgálat helyett ún. „safety” vizsgálatot hajtsunk végre. Ekkor a talajkörnyezet nyírási paramétereit az adott végeselemes program fokozatosan egyre nagyobb tényezővel osztja, egészen az állékonyság határáig. A kiadódó hányados az állékonyság biztonsága, a hozzá tartozó tönkremeneteli mechanizmus a potenciális szakadólap. A vizsgálat során egyre csökkenő talaj ellenállások mellett a földbe ágyazva modellezett szerkezetek (falak, horgonyok, stb.) egyre nagyobb terhelést, igénybevételeket kapnak. Figyelni kell arra, hogy ezek az igénybevételek ne haladják meg a beágyazott szerkezetek teherbírásának tervezési értékét, mert ellenkező esetben a tényleges biztonság kisebb a számításból kapottnál. Itt érdemes megjegyezni,

hogy kiemelt jelentőséggel bír a kiemelési oldalon a víztelenítés szintjének valós helyzete. A gödör túlszívása (földkiemelés síkja alá akár 1-2 méterrel) esetén növelni tudjuk a passzív oldali ellenállást, ellenben növeljük a két oldal közötti víznyomás különbségét, emiatt külön mérnöki megfontolás tárgya a víztelenítés mértékének meghatározása.

Vízzáró határoló szerkezet esetén a munkagödör víztelenítésekor a réstalpat megkerülve talajvíz szivárgás, áramlás indulhat meg. A fal talpsíkjának kellő mélységűnek kell lennie ahhoz, hogy az áramló víz miatti többlet felhajtó erő mellett a fal talpa előtti, azt stabilizáló földtömeg ne ússzon fel. A vizsgálat során a kritikus átlagos hidraulikus gradiens (i_{cr}) és a tényleges átlagos hidraulikus gradiens hányadosaként számolt szabványos biztonságot kell igazolni.

$$i_{cr} = \frac{\gamma_{sat}}{\gamma_w}; i_{eff} = \frac{\Delta h}{l}; \frac{i_{cr}}{i_{eff}} \geq 1,5$$

4.2. Tartószerkezeti elemek méretezése

Az egyes tartószerkezeti elemek teherbírását az MSZ EN 1997-1:2006 NA9.2 pontja szerint a 2. tervezési módszert használva, a parciális tényezők A1 „+” M1 „+” R2 kombinációjával kell ellenőrizni. Az R2 tényezőket ez esetben az egyes tartószerkezeti elemek anyagaihoz tartozó méretezési szabványok tartalmazzák. Fontos, hogy az ellenállások szabványos parciális tényezőinek érvényességéhez be kell tartani az adott szabványnak a tartószerkezeti kialakításra vonatkozó szerkesztési elveit is, amihez kellő jártasság kell mind a vasbeton-, mind az acélszerkezetek tervezését illetően.

A méretezés során figyelembe veendő igénybevételeket a modellezési eredmények szolgáltatják. Fontos megjegyezni, hogy a végeelemes modellezés esetén általában nincs mód minimális, vagy emelt földnyomások (pl. végleges üzemű megtámasztó szerkezeteknél aktív és nyugalmi földnyomás közti földnyomás érték) közvetlen beállítására, figyelembe vételére, miközben a méretezési szokások ezt megkívánják. Ilyenre csak mesterségesen, a végeelemes program „kényszerítésével” van lehetőség.

4.2.1. Falszerkezetek méretezése

4.2.1.1. Helyszínen betonozott szerkezetek

A határoló falak rendszerint résfalak vagy cölöpfalak, amelyeket méretezésük, szerkesztési szabályaik szempontjából az MSZ EN 1992-1-1:2010 szerint gerendák.

A speciális mélyépítési vasbeton szerkezetek tervezésében a szakma leginkább a hajlítási vasalások tervezésére koncentrált, bár még így is sok esetben sérülnek a

tartóssági (repedéstágasság korlátozás) és technológiai (betonacélok MSZ EN 1536 és MSZ EN 1538 szerinti távolsága) szempontok. A nyírási méretezés általában alárendelt szerepet kap. Ezért fel kell hívni a figyelmet arra, hogy az MSZ EN 1992-1-1:2010 érvényes előírásai szerint a rés- és cölöpfalak nyírási teherbírásának megfelelőségéhez a támaszok közelében erős nyírási vasalás szükséges. A nyírási vasalás kialakításának szerkesztési elvei is igen szigorúak, így összességében jelentős hányadot képviselnek a teljes vasmenységben a nyírási vasak.

Résfalak esetében a méretezési keresztmetszet magassága a résfal névleges vastagsága, míg szélessége egy adott armatúra szélességénél 5-5cm-rel, azaz összesen 10cm-rel szélesebb. Természetesen egy ilyen keresztmetszetű gerenda a szélességénél nagyobb alaprajzi szakasz terheit hordja, hiszen az armatúrák közötti vasalatlan beton zónák terheit is viselnie kell. A résfal vastagságát a tisztán erőtani szempontokon túl a betöltött vízzárósági szerepe is befolyásolhatja. Hazánkban nincs erre vonatkozó, elfogadott egységes osztályozási rendszer, ezért alább az Österreichische Bautechnik Vereinigung „Dichte Schlitzwände” című kiadványának résfal osztályozó ábráit mutatjuk be (25. ábra).

A cölöpfalakat alkotó cölöpök kör keresztmetszetű gerendák, amelyek a kiosztási távolságuknak megfelelő alaprajzi szakasz terheit hordják.

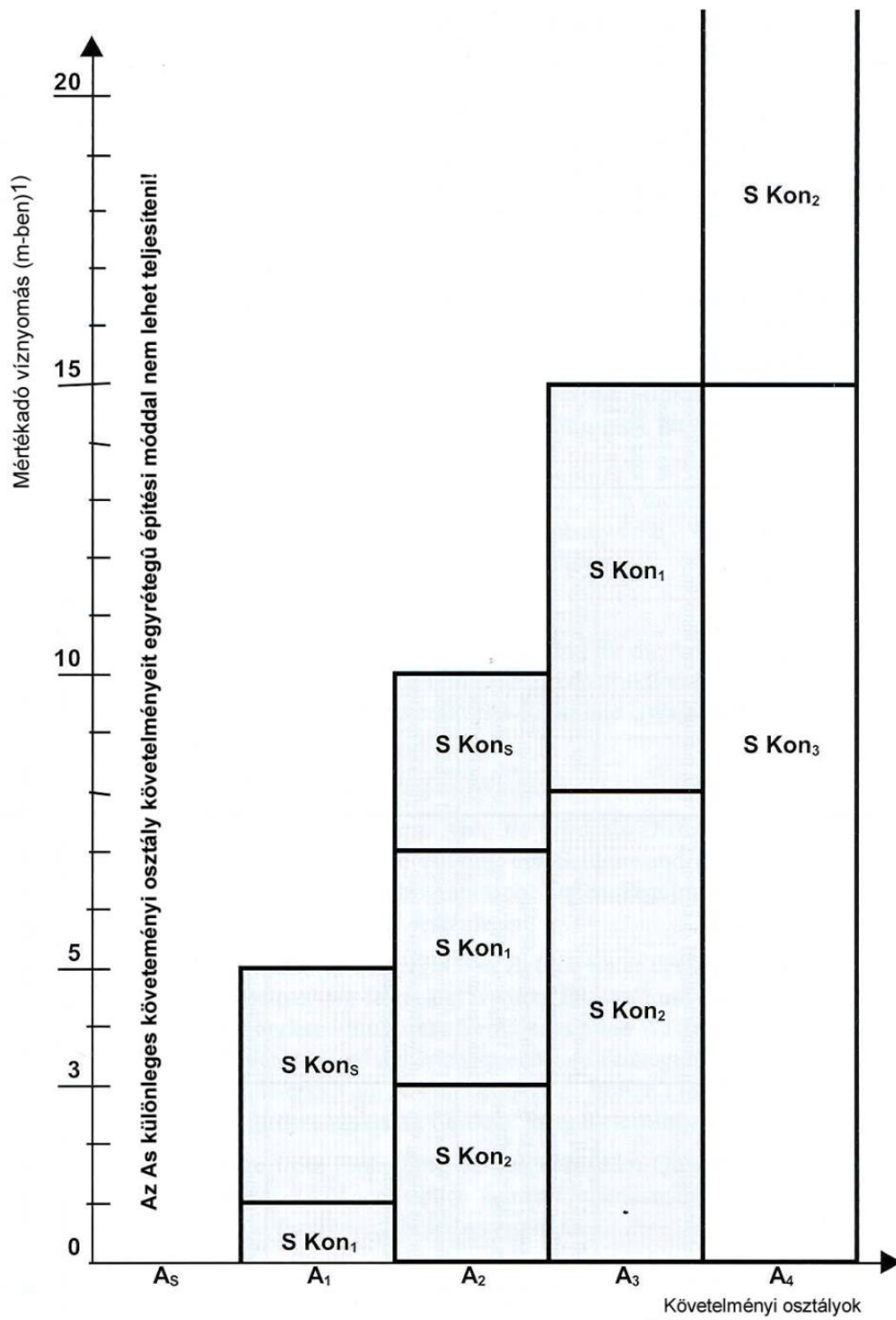
A helyszínen betonozott falak betonacél szerelése, armatúrái tervezhetők úgy, hogy gazdaságos megoldást eredményezve az igénybevételeket jól kövessék. Toldásuk nagy szerkezeti mélység, vagy korlátos belmagasság esetén átfogásos toldással vagy helyszíni hegesztéssel jól megoldható. Lényeges munkavédelmi-technológiai-méretezési kérdés a szakszerű emelési pontok és armatúra merevítések kialakítása, mivel az építési helyszínen gyakran több tonna tömegű armatúraelemek fekvő helyzetből a résbe vagy cölöpbe emelése szükséges anélkül, hogy az armatúra az emelési folyamat során, hatalmas önsúlya alatt torzulna vagy esetleg munka- és egészségvédelmi kockázatot jelentene.

3/1 táblázat Külső falak, padlólemezek és fűdélemek vízzáróságának követelmény osztályai

Köv. oszt.	Rövid leírás	Betonfelület leírása	Vízzáróság megítélése	Vízzárósági követelmény számszerűsítése a betonfelületen	Kiegészítő lépések	Lehetséges alkalmazási példák	Építési mód
A _s	teljesen száraz	Nincs szemmel látható nedves hely (sötét elszíneződések).	Száraz kézzel (felületileg) érintve a kézen víznyomok (cseppek) nem észlelhetők.		Ép. fizikai vizsg. és a térség kondicionálása/klimatizálása feltétlenül szükséges	Nedvességre különlegesen érzékeny anyagok külön helyisége és tárolója	egyrétegű építési mód
A ₁	messze-mében száraz	Szemmel látható egyes nedv. helyek (max. matt elszíneződés).	A lefolyó víz mennyisége nem mérhető. A fal érintése után a kézen víznyomok észlelhetők.	A részal látható részal felület 1%-ig nedves helyek lehetségesek, ezek lecsorgásai max. 20 cm-en belül felszáradnak	Ép. fizikai vizsgálat feltétlenül szükséges, ezért a térség kondicionálása/klimatizálása szükséges lehet (pl. hosszabb idejű emberi tartózkodásnál)	Közeledési létesítmények, nagy követelményekkel, tartózkodók, tárolók, házi pincék, (betároló helyiségek) épületgépészeti terek különleges követelményekkel	
A ₂	enyhén nedves	Szemmel és kézzel megállapítható egyes fénylő nedvesedések a látható felületeken.	A lefolyó víz mennyisége nem mérhető. A fal érintése után a kézen víznyomok észlelhetők.	A részal teljes felületének 1 %-án nedvesedési helyek megengedhetők. Az egyes lecsorgások a szobán forgó építményrészekben felszáradnak.	Különböleges esetekben kondicionálás/klimatizálás szükséges lehet.	Garázsok, épületgépészeti terek (pl. fűtési berendezések, kollektorok), közlekedési létesítmények.	Külső héj kétrétegű
A ₃	nedves	Vizkilépés csöpekben, vízfoltok képződésével	A lefolyó víz mennyisége gyűjtő edénnyel mérhető.	A részal látható felületen: a max. vízmennyiség egy hibahelyen, ill. 1 fm részal munkahézagon nem lehet több, mint 0,2 l/h, a vízbelépés fal m ² -én átlagosan 0,01 l/h-nál nem lehet több.	Víztelelnitést kell előíranyozni.	Garázsok (kiegészítő intézkedésekkel, pl. víztelelnítő folyókákkal).	építési módban
A ₄	Vizes	Egyes lefolyó vízbelépések	A lefolyó víz mennyisége gyűjtő edénnyel mérhető.	A max. vízmennyiség egy hibahelyen nem lehet több, mint 2 l/h, a vízbelépés fal m ² -én átlagosan 1 l/h-nál nem lehet több. 1)	Víztelelnitést kell előíranyozni.		

1) Az átlagképzés csak a kívülről nedvesített fafelületre, a méretezési vizállás és a földkicmelés szintje közötti részre vonatkozhat.

25. ábra: Részfalak látható részeinek követelményosztályai



26. ábra: Összefüggés a követelményosztályok, a víznyomás és a szerkezeti osztályok között

	S Kon _s	S Kon ₁	S Kon ₂	S Kon ₃
egyrétegű/kétrétegű építési mód	egyrétegű építésmódra talajvízben alkalmas maximális megengedett víznyomás 3.1 ábra szerint			talajvízben csak kétrétegű építési módnál alkalmazható
minimális építményrész vastagság	80 cm	80 cm	60 cm	50 cm
táglulási fugák távolsága	≤ 15 m	≤ 30 m	≤ 60 m	nincs korlátozás
keresztmetszet változhatósága	Egy, táglulási fugákon belüli szakaszon belüli a geometria, statikai váz, és a behatások nem változhatnak.	Egy, táglulási fugákon belüli szakaszon belüli a geometria, a statikai váz, vagy a behatások változhatnak. Mindamellett igazolni kell, hogy a vasalatlán beton az elemfugák mindkét oldalán a kiváltott erőátvitelbőségeket át tudja adni.	Rendszer változásnál vagy keresztmetszeti lépcsőknel táglulási fugákat kell beiktatni, vagy tömítés kialakításáról kell gondoskodni.	nincs korlátozás
kihagyások	füdém vagy padlólemez számára kialakított kihagyások csak a húzott zónában megengedettek			megengedett
kihagyások mélysége	≤ d / 4			
vasak távolsága (vasak közötti szabad távolság a toldásoknál is)	≥ 7,5 cm	≥ 5 cm	≥ 5 cm	≥ 5 cm
hatékonyan működő normálérők maximális ráadása	25 %	50 %	75 %	100 %
víz oldali repedéstávolság korlátozás	0,15 mm	0,20 mm	0,25 mm	0,35 mm
levegő oldali repedéstávolság korlátozás	0,20 mm	0,25 mm	0,30 mm	
változó irányú nyomaterkek a méretezési vízszint alatti területen	építési és végleges állapotban ellenkező irányú nyomaterkek nem megengedettek	Ha építési vagy végleges állapotban ellenkező irányú nyomaterkek lépnek föl, igazolni kell, hogy a betonok húzott zónát használatai állapotban nincsenek átfedésben, vagy ezeken a területeken a repedéstávolságok olyan értékre korlátozottak, hogy 0,05 mm-nél, vagy a fenti értékeknél kisebbek.		

27. ábra: Szerkezeti osztályok előírásai

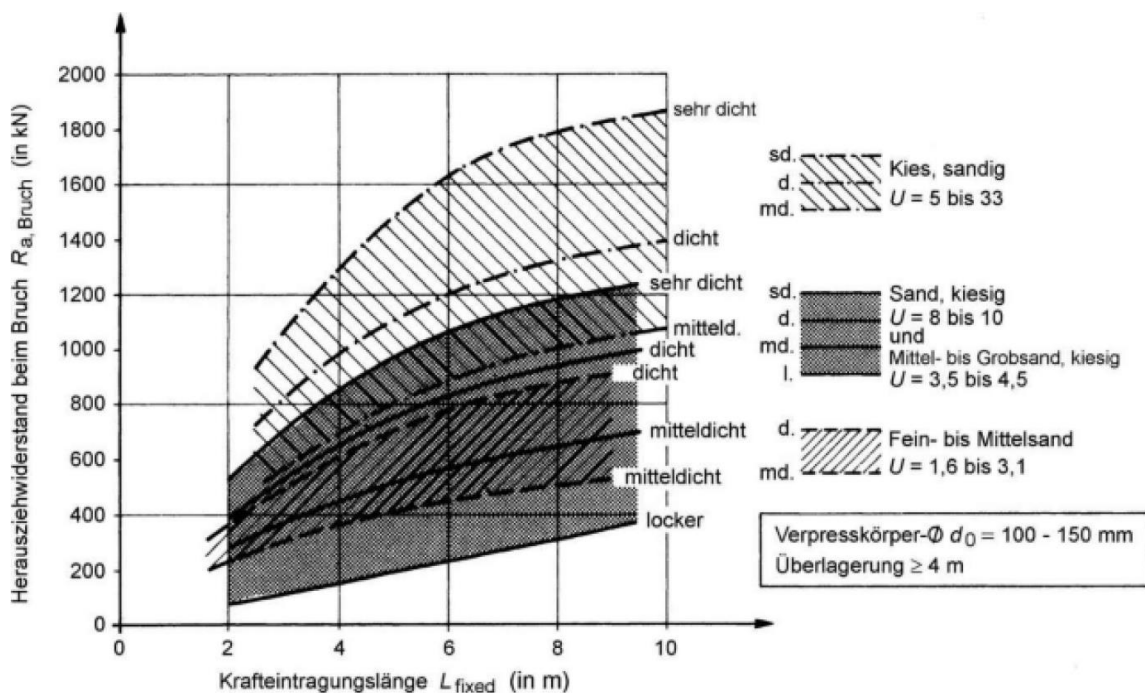
4.2.1.2. Merev acélbetétek

A merev acélbetéteket a modellezés eredményeként kapott igénybevételekre az MSZ EN 1993 előírásai szerint kell méretezni. A merev betéteket a fal hossza menti legnagyobb igénybevételre méretezzük és az így szükséges szelvényt a teljes hosszon alkalmazzuk. Ennek megfelelően ilyen esetben az igénybevételeket az acélbetét nem követi jól, a tartók egésze túlméretezett. A merev betétek súlya általában nagy, ezért mozgatása általában nehézkes, toldásuk körülményes. Toldásként legtöbbször a már beemelt tartó végéhez hevederes, csavarozott kötéssel csatlakozik a következő elem.

4.2.2. Támszerkezetek méretezése

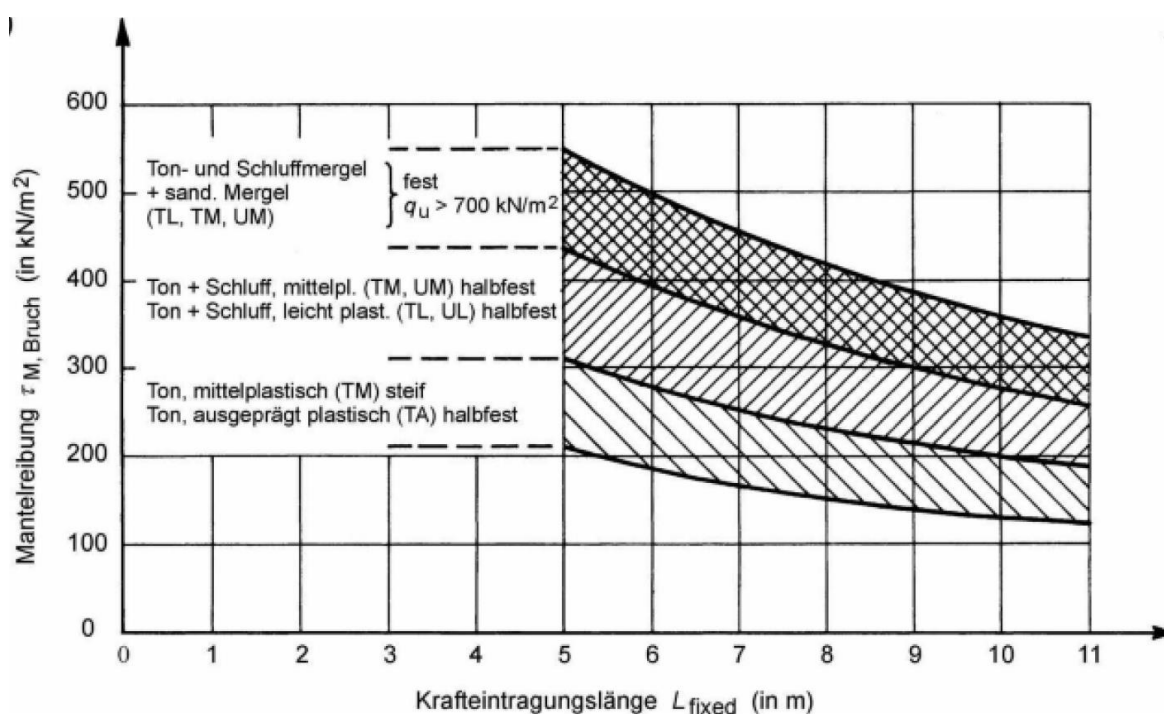
4.2.2.1. Horgonyok

Az egyedi horgonyokra jutó terheléseket alapvetően meghatározza alaprajzi kiosztásuk. A falakat a fejgerendán keresztül gyámolító horgonyok alaprajzi kiosztása tulajdonképpen tetszőleges lehet, de a szokásos 1200-1500kN terhelésű horgonyok 1,40m-nél kisebb tengelytávval nem telepíthetők. A fejgerenda szintjénél mélyebb dőféspontú horgonyok alaprajzi kiosztása a fal szerkezeti elemeinek kiosztásához kell, hogy illeszkedjen, azaz hézagos cölöpfalaknál cölöpközökbe, résfalaknál az armatúrákba kerülnek. A résfalak esetében ilyenkor egy magassági vonalban armatúráként legalább egy horgony készül, hogy az egymás melletti armatúrák által kijelölt gerendák statikai váza azonos legyen.



28. ábra: Horgonyok injektált szakaszának teherbírása – szemcsés talajok

A talajhorgonyok talajoldali teherbírására vonatkozóan fellelhetők szakirodalmi ajánlások, amelyek iránymutatásra alkalmasak. Az alábbi ábrák (28-29. ábra) különböző talajtípusokra adják meg az általában figyelembe vehető teherbírásokat.



29. ábra: Horgonyok injektált szakaszának teherbírása – kötött talajok

A gyakorlatban főként saját tapasztalati adatokra támaszkodva határozzák meg a várható teherbírásokat, hiszen az jelentős mértékben függ az alkalmazott technológiától. A kivitelezési tervben mindenképpen rögzítendő a horgonyfeszítési eljárás végén elvárt záróerő, mert ez a statikai vázat, valamint a méretezés során adódott horgonyerő tervezési értékét befolyásolja, ami pedig a horgony megfelelőségét minősítő eljárás alapja. A horgonyok acélbetétjét az MSZ EN 1993 előírásai szerint kell méretezni.

4.2.2.2. Dúccok

A dúccok méretezését a kihajlási vizsgálat vezérli. A méretezéséhez a modellezés eredményeként kapott dúcerőkön kívül meghatározó hatásként figyelembe kell venni a földmunkák során esetleg jelentkező ütközési terheket, illetve a hőmérsékleti hatásokat. Napnak kitett dúccok esetében a gátolt hőtágulásból származó erők mértéke elérheti a megtámasztó szerepből származókat. Sok esetben ezért előírják az fehérre festésüket, árnyékolásukat, hűtésüket.

4.3. A környező létesítményekre gyakorolt hatás

A megtámasztó szerkezetek megfelelőségének megítéléséhez szorosan hozzá tartozik a környezetükben található építményekre (épületek, vezetékek, stb.) gyakorolt hatás -

elsősorban a földkiemelések következtében azokon keletkező mozgások – földkiemelések előtti, számításokon alapuló, előzetes ellenőrzése. Ezek a mozgások lehetnek süllyedések, vízszintes elmozdulások, de akár emelkedések is.

A földkiemelés hatására bekövetkező környezeti mozgások közelítően levezethetők a fal elmozdulásaiból, de pontos vizsgálatok csak vége-selemes analízis segítségével végezhetők. A hatásvizsgálathoz már a beruházás előkészítés szakaszában, a tervezéskor részletesen meg kell ismerni és elemezni az érintett építmények tartószerkezeti rendszerét, terheléseit, amihez rendszerint külön tartószerkezeti szakértő bevonása szükséges. Ezután lehetséges a környező építmények gyakorolta hatások modellezés, illetve a modellezés eredményeként kapott visszahatások meghatározása, azoknak a kritériumokkal történő, szintén szakértői egybevetése.

Bizonyos, általános tartószerkezeti rendszerekre vonatkozó elmozdulás kritériumok találhatóak az MSZ EN 1997-1 szabvány nemzeti mellékletében (30. ábra).

Az építmény szerkezeti és alapozási jellemzői		Az alakváltozás jelege	Az alakváltozás határértéke	
			ha a konszolidáció	
			gyors	lassú
Építmények teherhordó vázszerkezettel	Statikailag határozatlan vasbeton vagy acélvázak	Relatív elfordulás	0,0020	
	Statikailag határozatlan vasbeton vagy acél-vázak téglával kitöltött szélső pillérsorokkal	Relatív elfordulás	0,0007	0,0010
	Statikailag határozott vázszerkezetek	Relatív elfordulás	0,0050	
Építmények teherhordó vázszerkezet nélkül	Váz nélküli nagyblokk vagy vasalatlan téglafal	Relatív lehajlás	0,0007	0,0010
		Relatív áthajlás	0,00035	0,0005
	Vasbeton, illetve acélbetétes nagyblokk vagy téglafal	Relatív lehajlás	0,0010	0,0013
		Relatív áthajlás	0,0005	0,0006
Egyszintes ipari vagy hasonló szerkezetű épületek		Relatív lehajlás	0,0010	
		Relatív áthajlás	0,0005	
Magas súlypontú merev vagy merev alapozású épületek		Billenés	0,01·L/H	
Darupályák (sínje)	Hosszirányban	Relatív elfordulás	0,0040	
	Keresztirányban	Relatív elfordulás	0,0030	

30. ábra: Az építmények szerkezetét nem károsító alakváltozások határértékei

Vonalas létesítményekre vonatkozó kritériumokat az üzemeltetőknél lehet beszerezni. Egyedi, összetett szerkezetekre gyakorolt hatások nem ítélték meg csupán a táblázatban megadott értékek alapján, csak geotechnikai és tartószerkezeti vége-selemes modellezéssel, szükség esetén mindkettőnek háromdimenziós alkalmazásával.

5. Mintapéldák

5.1. Hézagos cölöpfal méretezése

5.1.1. A feladat ismertetése

A feladat egy jellegzetes budapesti talajkörnyezetben készülő 5 m kiemelési mélységű, 12 m szélességű gödör cölöpfalas munkatérhatárolásának elkészítése. A munkatérhatárolás ideiglenes funkciót lát el, a munkagödörbe kerülő szerkezet végleges állapotában nem tölt be statikai szerepet. A munkagödör körül meglévő építmények nincsenek.

A tervezett megoldás szerint 400mm átmérőjű CFA technológiával készülő cölöpök készülnek 80 cm-es, hézagos tengelykiosztással. A hézagokban a talaj kipergés elleni védelme geotextil és cölöpbetonba dűbelezett acélháló segítségével tervezett.

A cölöpök a felső síkjukon fejgerendával vannak összekötve. A cölöpfal ideiglenes megtámasztását a fejgerenda síkjában elhelyezett, a fal síkjára merőleges acél csőtámaszok biztosítják.

5.1.2. Kapcsolódó szerkezetek, geometriai kényszerek

A tervezési terület beépítetlen környezetben helyezkedik el, szomszédos épület vagy kapcsolódó szerkezet nincsen. Ennek megfelelően a számításokban egyedi vizsgálatra nincs szükség, általános metszetet kell figyelembe venni.

A cölöpfal nyomvonala a telekhatáron belül, attól több méter távolságban helyezkedik el, így sem szomszédos építmények, sem közművek vagy egyéb akadályok nincsenek közvetlen kölcsönhatásban a munkatér határolással. Emellett a felszint átlagosan 2 méter vastagságban feltöltés borítja. Így adódik a lehetőség a munkasíkot a terepszinthez képest mélyebben felvenni és rézsús munkatér határolással lezárítani azt.

5.1.3. Talaj, talajvíz ismertetése

Talajrétegződés

A talajrétegződés jellegzetes budapesti (pesti oldali) rétegződést mutat. A felső 2 m feltöltésből származik, mely alatt 3 m vastagságú homokos iszap húzódik. Az átmeneti talaj alatt 4 m vastagságú kavicsos homok réteg található, amit a rétegsorban az alapkőzetnek tekinthető agyag követ.

Az alábbi táblázat tartalmazza a tervezés során alkalmazott talajfizikai jellemzőket. A tervezési paraméterek a talajfizikai jelentés és a környéken szerzett korábbi tapasztalatok alapján kerültek meghatározásra.

	Réteg alsó síkja (mRel)	ϕ [°]	c [kPa]	Es [MPa]	γ [kN/m ³]	γ_n [kN/m ³]	k_h [MN/m ³]
Feltöltés	-2,00	20	5	3	17	18	5
Homokos iszap	-5,00	25	10	8	18	19	10
Kavicsos homok	-9,00	33	0	40	19	21	84
Agyag	-	18	80	20	21	22	33

2. táblázat: Alkalmazott talajfizikai paraméterek

Az ágyazási tényezőt Schmitt módszerével határoztuk meg, az ödométeres modulusból

$$E_{oed} = \frac{E_m}{\alpha}$$

összefüggést elfogadva.

Talajvízviszonyok

A területen a nyugalmi talajvíz és az építési talajvíz szintje a mértékadó kiemelés alatt húzódik, így víztelenítésre nincs szükség.

5.1.4. Vizsgálendő határállapotok

A számítások során a cölöpfalas munkatér határolást az alábbi határállapotokra szükséges ellenőrizni:

- Teherbírési határállapotok – **ULS**
- **STR** – szerkezeti törési határállapotok
 - Cölöp szerkezeti törése
 - Fejgerenda szerkezeti törése– jelen mintapéldában terjedelmi okok miatt nem tárgyaljuk
 - Dúc szelvény teherbírásának kimerülése hőmérsékleti terhelés figyelembevételével
 - Dúc bekötés (fejgerendához kapcsolódás) tönkremenetele
- **GEO** – talajtöréses határállapotok
 - Cölöpfal befogási talajjellenállás kimerülése
- Használhatósági határállapotok – **SLS**

A feladat megfogalmazása szerint ideiglenes munkatér határolással foglalkozunk, hatásvonaljában védendő épületek nincsenek, így használhatósági határállapotok vizsgálatával nem foglalkozunk.

5.1.5. Építési fázisok

A számítások során minden metszetben a következő építési fázisokat vesszük figyelembe:

- Kezdeti nyugalmi állapot
- Munkaszint kialakítása, lőttbetonos rézsú és a cölöpfal elkészítése
- Csőtámasz beépítéshez munkasík kialakítása
- Dúcok elkészítése
- Munkagödör teljes kiemelése
- Alaplemez beépítése
- P1 földem beépítése
- Dúcok elbontása

5.1.6. Cölöpfal kialakítása

A vizsgált metszet geometriai jellemzőit az alábbiakban szemléltetjük. A talajrétegződésnél kitértünk arra, hogy a felső 2 m feltöltés (gyakori az építési/bontási törmelék, ipari melléktermék). Érdemes a lavírsíkot az ismeretlen eredetű feltöltések alatt kialakítani munka és egészségvédelmi, valamint gazdaságossági szempontok alapján. A mintapéldánál ennek megfelelően a cölöpfal -2,00 mRel szintű lavírsíkról készül. A felette kialakuló rézsú felületét lőttbetonos fedéssel célszerű burkolni, a kialakítható rézsúmeredekség függvényében szükség esetén talajszegezéssel megtámasztani.

Tekintettel arra, hogy szomszédos épület, egyéb szerkezet nincs a tervezett cölöpfal közelében, melyet a modellezés során figyelembe kellene venni, így egy általános 10 kPa felszíni terhet alkalmazunk a modellezés során. A 10 kPa felszíni teher a valóságban kisebb járművek, deponálások terhet biztonságosan tartalmazza. Azonban célszerű körültekintően és előre látóan meghatározni az építés során valóságban létrejövő felszíni terhek (pl. toronydaru, betonpumpa, mixer, földmunkás járművek, cementsiló stb.) nagyságát és térbeli (síkbeli) elhelyezkedését és figyelembe venni őket a számításokban.

Megjegyzések:

- A használhatósági határállapotokra vonatkozó parciális tényezők értékei az EN 1997-1 szerint 1,0-nek felelnek meg. Az egyetlen kivétel a hasznos terhelések, ahol $1,5 / 1,35 = 1,11$ parciális tényezőt alkalmaznak.
- A hazai gyakorlatban elterjedten alkalmazott szoftverek számítási eredményei (erők és feszültségek) leggyakrabban SLS értékek. A szerkezeti elemek méretezése során az eredményeket 1,35-rel szorozva kerülnek meghatározásra az ULS (Ultimate Limit State) értékek.
- Rendkívüli teher esete nem lett figyelembe véve a méretezés során.

A cölöpfal munkagödör felőli rész befogott szakaszának (passzív oldal) a tönkremenetellel szembeni biztonságát az alábbiak szerint definiáljuk: rendelkezésre álló passzív nyomás / mobilizált passzív nyomás.

Állapot	Biztonsági tényező
Ideiglenes állapot (építési)	Minimum = ,89

4. táblázat: Alkalmazott biztonsági tényező - ideiglenes állapot

A cölöp mint vasbeton szerkezet méretezése során az anyagi jellemzőkre alkalmazott parciális tényezők.

Tervezési helyzet	Beton, γ_c	Acél, γ_s
Tartós vagy átmeneti	1,5	1,15

5. táblázat: Alkalmazott biztonsági tényező - anyag oldal

A csőtámasz mint szerkezeti acél elem méretezése során az anyagi jellemzőkre alkalmazott parciális tényezők.

Ellenállás	Tényező
Keresztmetszeti ellenállások	$\gamma_{M0} = 1,00$
Kapcsolatok ellenállás	$\gamma_{M2} = 1,25$

6. táblázat: Alkalmazott biztonsági tényező - kapcsolati elem

A vasbeton szerkezetben alkalmazott betonacél B500. Az acél karakterisztikus folyáshatára, $f_{yk} = 500$ MPa (N/mm²). A cölöpalapozás C30/37 betonszilárdsággal valósul meg, $f_{ck}=30$ MPa (N/mm²) karakterisztikus nyomószilárdsággal)

5.1.7.2. A számítások bemenő paraméterei

A modellezésben a földkiemelést a tervi ágyazat alsó síkjáig vesszük figyelembe (-6,50 mRel). Ebből következik, hogy a cölöpfal előtt (hazai gyakorlat szerint legalább 5 m széles zónán belül) nem lehet nagyobb kiterjedésű ($1 \text{ m}^2 <$) földkiemelést készíteni (süllyeszték, zsomp, fejtömb, szivárgó borda stb. céljából). Ellenkező esetben ezt a modellezés során már figyelembe kell venni. Fontos megjegyezni, hogy az MSZ EN 1997-ben közölteknek megfelelően a földkiemelés szintjének meghatározása során, amennyiben a földkiemelés menete, geometriai pontossága nem kontrolálható (pl. víz alatti kotrás vagy társvállalkozó által végzett földmunkavégzés) megfelelően, „túlfejtést” kell számításba venni. Ettől jelen mintapélda esetében eltekintettünk.

Különös gondossággal kell meghatározni a fal merevségét (inercia és terület). A programokba jellemzően 1 fm falmerevséget kell beadni, melyet a cölöp keresztmetszetből számítható valós inercia fajlagosításával tudunk meghatározni.

Jelen projekt esetében a 400mm átmérőjű CFA cölöp

- másodrendű nyomatéka a középtengelyre $I_s=0,001256 \text{ m}^4$
- keresztmetszeti területe $A=0,1256 \text{ m}^2$.

Hézagos cölöpfal esetén ezeket a cölöptengelytávval kell „fajlagosítani” (jelen esetben 0,8 m), így a cölöpfal számításba kerülő

- másodrendű nyomaték $I_s=0,00157 \text{ m}^4 / \text{m}$,
- keresztmetszeti területe pedig $A=0,157 \text{ m}^2 / \text{m}$.

A 12m hosszú, 5m-es osztásközzel tervezett 406mm átmérőjű, 8mm falvastagságú acél csőtám egy gerendaelemmel kerül számításba, így a cölöpfallal megegyező gondolatmenet szerint számolható a számításba veendő másodrendű nyomatéka és keresztmetszeti területe:

A csőtámasz

- másodrendű nyomatéka a középtengelyre $I_s=0,000197 \text{ m}^4$
- keresztmetszeti területe $A=0,00992 \text{ m}^2$.

Ezeket az 5m-es osztásközzel fajlagos értékekké transzformálva kapjuk meg a számításba kerülő merevséget:

- másodrendű nyomaték $I_s=0,0000394 \text{ m}^4 / \text{m}$,

- keresztmetszeti területe pedig $A=0,00198 \text{ m}^2 / \text{m}$.

Hézagos cölöpfalak modellezése során alkalmazni kell az ún. berlini-fal koefficiens, mely a fal síkbeli modellben elhanyagolt hézagossága miatti földnyomás eloszlás változást hivatott figyelembe venni. A redukció mind az aktív, mind passzív földnyomási tényezőt (víznyomást is) változtatja, de nem az ágyazási merevséget módosítja! Jelen projekt esetében a geometria miatt a tényező értéke 1,0 lett, mivel a cölöpátmérő és a cölöpök közötti hézag azonos méretű. (40cm)

Az állékonysági és tartószerkezeti számítások során a rézsűsen kialakított szakaszokon egységesen 10kPa depónia terhet vettünk figyelembe.

A földrengés hatás vizsgálata ideiglenes szerkezetek esetén gyakorlatilag a legtöbb esetben elhanyagolható. Az 50 éves tervezési élettartamhoz viszonyítva az ideiglenes munkatérhatároló szerkezet 6-(8-10) hónapnyi nyitott állapotát, szabvány szerint meghatározható egy figyelembe veendő alapkőzet gyorsulás, melynek nagysága jelentéktelennek bizonyul.

Ideiglenes állapot idő tartalma: 6 hónap;

$$a_g = Y_L * a_{rg} \quad a_{rg} = 0,14$$

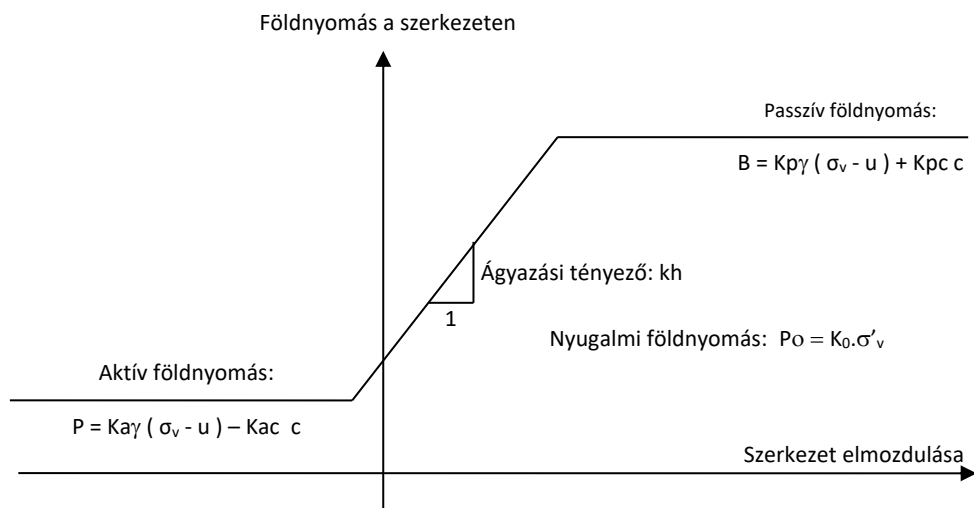
$$TLR = 50 \text{ év}; \quad TL = 0,5 \text{ év} \quad Y_L = (TLR/TL)^{-1/3} = 0,22$$

Kivitelezés időtartama során figyelembe veendő $a_g = Y_L * a_{rg} * g = 0,03 * g$

5.1.7.3. Modellezés alapelvek

A cölöpfalat egy 2D-os (1m széles) gerendaként modelleztük folytatólagosan megtámasztva ágyazással (fiktív rugó). A számítást építési fázisokban tagoljuk lépésekre. A számítás során, amennyiben a talaj adott építési fázisban eléri a képlékeny állapotot, a későbbi fázisokban is a képlékeny paraméterek kerülnek figyelembe vételre. A „negatív hatékony feszültségek” hatásai (mint húzás) nincsenek figyelembe véve. A földnyomáson túl a víznyomást is figyelembe vettük, ahol releváns.

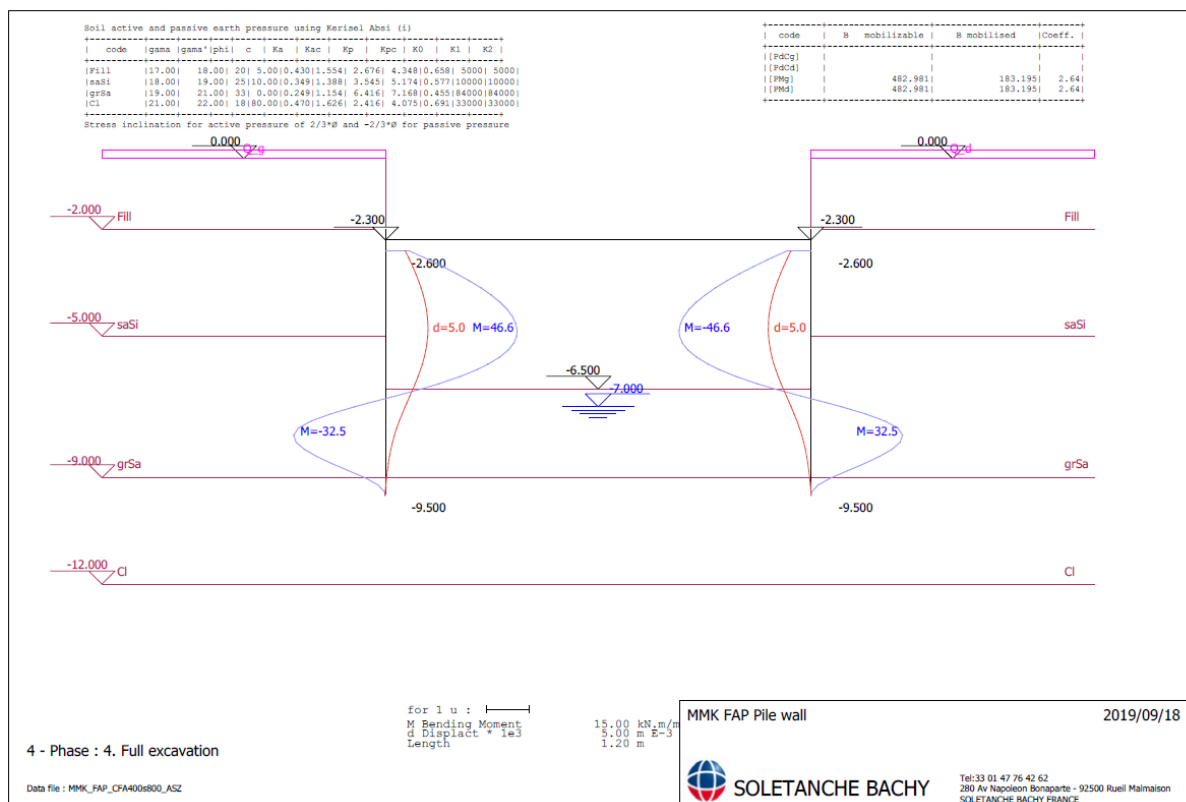
Az aktív / passzív földnyomások hajlásszöge a falsúrlódás figyelembe vételével +/- $2/3 \phi$. A földnyomás-együttható értékei a Kerisel-Absi táblázatok alapján kerülnek meghatározásra szemcsés talajok esetén, illetve a Caquot táblázatok alapján a kohéziós talajok esetén. A cölöpfal méretezéséhez a Soletanche-Bachy által kifejlesztett «Paris» szoftver került alkalmazásra, de bármely hasonló, rugalmas ágyazás elvén működő szoftverrel azonos eredményre juthatunk.



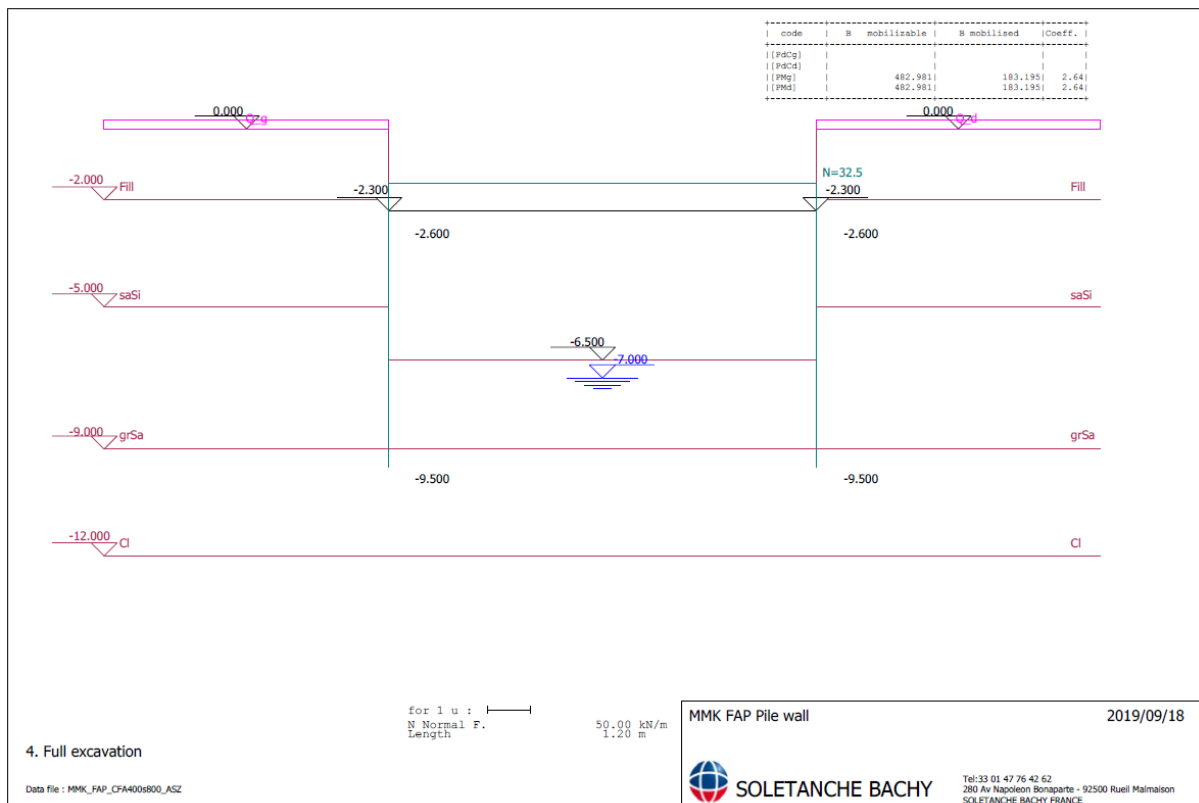
32. ábra: Rugalmasan ágyazott gerenda-modell vázlatja

5.1.7.4. Modellezés eredményei

A számítás legfontosabb eredményei a maximális földkiemelés állapotára vonatkozóan az alábbi ábrákon láthatóak. A felső ábra a cölöpfal számított elmozdulásait (d [mm]) és nyomatéki igénybevételeit (M [kNm]), míg az alsó ábra a csőtámaszban keletkező normálerő értékét (N [kN/m]) mutatja.



33/a. ábra: Számítási eredmények



33/b. ábra: Számítási eredmények

5.1.8. Cölöpfal vasalása

A cölöp vasalását nyírési és hajlítási igénybevételek figyelembe vételével szükséges meghatározni. A hajlítási igénybevételnek megfelelő számú és átmérőjű hosszirányú betonacél alkalmazásával tudunk eleget tenni.

A számítás eredményekét 1 fm fajlagos igénybevétel alapértéke 46,6 kNm/m. Ebből az 1 db cölöpre jutó teher tervezési értékét az alábbiak szerint kapjuk meg: $46,6 \cdot 0,8 \cdot 1,35 = 50,3$ kNm.

Minimális hosszvasalás szabvány szerint 0,5% beton keresztmetszeti terület:

- $400^2 \cdot \pi / 4 = 628 \text{ mm}^2$

Alkalmazott hosszvasalás $6\Phi 16 = 1206 \text{ mm}^2$

Hajlítási ellenállás tervezési értéke: $M_{R,d} = 70 \text{ kNm} > M_{E,d} = 50,3 \text{ kNm}$

Amennyiben a cölöp alsó részén a hosszvasak ritkítását tervezzük, akkor figyelembe kell venni a cölöp alsó szakaszán kialakuló mértékadó igénybevételt (jelen esetben $32,6 \cdot 0,8 \cdot 1,35 = 35,2$ kNm). Hosszvas darabszám csökkentést vagy átmérő váltást ennek megfelelően tudunk végezni.

A nyíró igénybevétel hasonlóan a nyomatékhoz a mélységgel jelentős mértékben változik, melyet a gyakorlatban célszerű a spirál kengyelezés sűrűségének változtatásával (100 mm / 150 mm / 200 mm) szakaszosan lekezeln.

A számítás eredményeként 1 fm fajlagos igénybevétel alapértéke 48,4kN Ebből az 1 db cölöpre jutó teher tervezési értékét az alábbiak szerint kapjuk meg: $48,4 \cdot 0,8 \cdot 1,35 = 52,3$ kN.

A vasalatlan beton km. nyírási ellenállása $V_{Rd,c} = 48,3$ kN < $V_{E,d} = 52,346,5$ kN

vagyis méretezett nyírási vasalás szükséges. Így alkalmazva a szerkesztési szabályokat és figyelembe véve az armatúra merevséget is, alkalmazzuk a hagyományos $\Phi 10$ spirálkengyelt $s = 200$ mm menetemelkedéssel a cölöpben. A kengyelezett vasbeton nyírási ellenállása $V_{Rd,s} = 83$ kN > $V_{E,d} = 52,3$ kN

5.1.9. Acél csőtámasz méretezése

5.1.9.1. Csőtámasz és kapcsolatainak kialakítása

A cölöpfal megtámasztását biztosító acél csőtám legfontosabb adatai :

- Dúctengely szintje : -2.3mRel
- Dúcek alaprajzi osztásköze : 5m
- Dúc hossza : 12m
- Dúc keresztmetszeti méretek : 406mm x 8mm
- Dúc fajlagos tömege : 78kg/fm
- Anyagminőség : S235

A fejszerenda-dúc kapcsolat, számos konstrukcióban alakítható ki, jelen esetben az alábbi elrendezést választottuk:

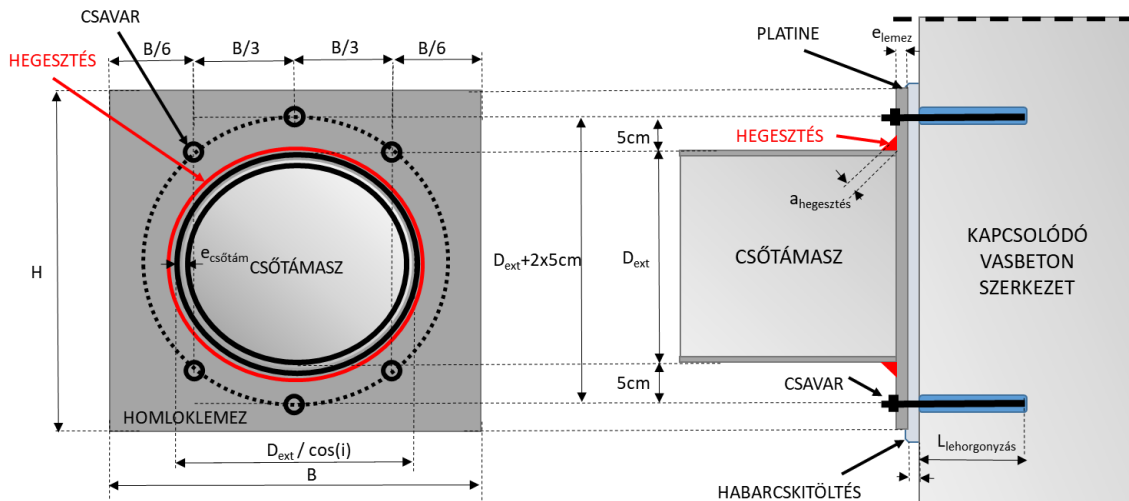
- S235 anyagminőségű 600mmx600mmx15mm méretű homloklemez 3mm sarokvarrattal a dúcvéghez rögzítve
- 6db 12mm átmérőjű Q4.6 anyagminőségű utólagosan, min 25cm mélységgel a fejszerendába fúrt, ragasztott csavar
- legalább 30MPa karakterisztikus nyomószilárdságú habarcskitöltés a homloklemez és a fejszerenda között az előre gyártott dúc és a szemközti

fejgerendák közötti építési méreteltérések kezelésére, valamint a homloklemez egyenletes felfekvésének biztosítására.

CSŐTÁMASZ $D_{ext} = 406\text{mm}$ $e_{csőtám} = 8\text{mm}$ Hajlás $i = 0^\circ$ S235
--

CSŐTÁM – FEJGERENDA KAPCSOLAT HOMLOKLEMEZ-S235 $B=H=600\text{mm}$ $e_{lemez} = 15\text{mm}$ $a_{hegesztés} = 3\text{mm}$	CSAVAR CSAVAR-Q4.6 6db $d_{csavar} = 12\text{mm}$ $d_{urat} = 14\text{mm}$ $L_{lehorgonyzás} = 250\text{mm}$
---	--

Megj.:
 A hegesztési varrat a teljes csőtámasz-kerület mentén szükséges.
 A csavarok vasbeton szerkezetben történő lehorgonyzása epoxi ragasztóhabarccsal tervezett.
 A homloklemez és a vasbeton felület között 2-7cm közötti vastagságú hézagkitöltés szükséges a vasbetonnal megegyező $f_{ck}=30\text{MPa}$ szilárdsággal.



34. ábra: Csőtám-fejgerenda kapcsolat

5.1.9.2. Méretezés alapadatai, alapelvei

A csőtámaszra jutó terhelések :

- Cölöpfalról dúcra jutó fajlagos terhelés : 32,5kN/m,
- Csőtámra jutó terhelés alapértéke : $5\text{m} \times 32,5\text{kN/m} = 162,5\text{kN}$
- Csőtámra jutó terhelés tervezési értéke : $1,35 \times 162,5\text{kN} = 220\text{kN}$
- Csőtámra jutó hőmérsékleti terhelés*: +25°C

*MSZ EN 1991-1-5:2005 alapján

A csőtámasz és annak fejgerendával való kapcsolatának méretezése során két építési állapotot vizsgáltunk :

- Földkiemelés előtti állapot – cölöpfalról dúcra ható normálerő zérusnak tekinthető, így fejgerenda-dúc kapcsolatnak a dúc önsúlyából adódó nyírással szembeni ellenállása vizsgálandó.

- Maximális földkiemeléshez tartozó állapot a maximális hőteher figyelembevételével – a csőtám kihajlással szembeni ellenállása, valamint fejgerenda-dúc kapcsolat igénybevételekkel szembeni ellenállása vizsgálandó.

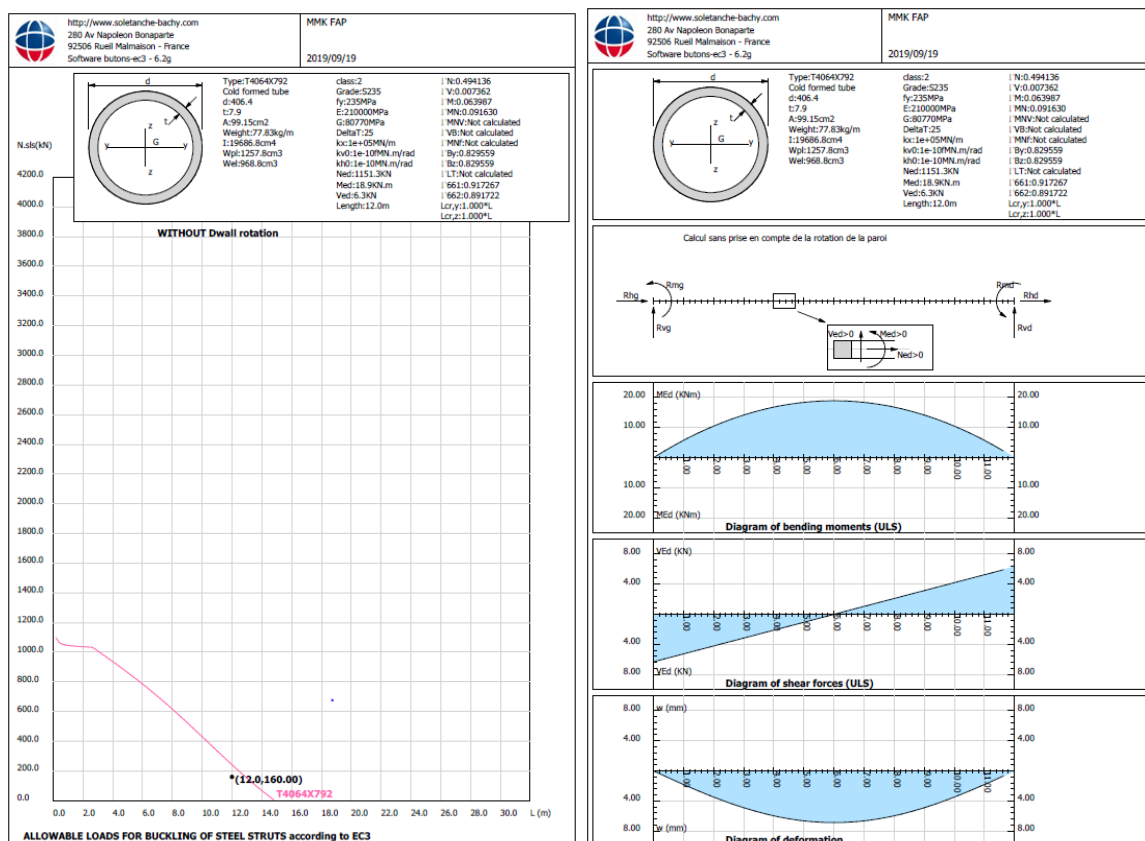
A méretezés során az alábbi modellezési feltételezéseket tettük :

- A csőtám kihajlással szembeni ellenőrzése során, a biztonság javára történő közelítéssel, a dúc-fejgerenda kapcsolatot csuklós megtámasztásként modelleztük.
- A dúc-fejgerenda kapcsolat ellenőrzése során, a biztonság javára történő közelítéssel, a dúc-fejgerenda kapcsolatot merev, befogott megtámasztásként modelleztük.
- A dúcolatra ható hőmérsékleti terhet a keresztmetszet mentén egyenletesnek feltételeztük, tekintettel az alkalmazott viszonylag kis átmérőre.

5.1.9.3. Csőtámasz ellenőrzése kihajlással szemben

A dúc keresztmetszeti méreteinek méretezése/ellenőrzése, a fentiekben rögzített normálerő tervezési értékére, valamint az ezzel egyidejűen figyelembe veendő hőmérsékleti hatásból adódó normálerőre elvégezhető kézi számítással, vagy valamely szerkezeti modellezést és méretezést lehetővé tevő szoftverrel (pl. AXIS VM). Jelen mintapéldában, a fenti méretek, terhelések és peremfeltételek mellett, az MSZ EN 1993 előírása szerinti ellenőrzést a Soletanche Bachy saját fejlesztésű « Butons-EC3 » dúcméretező célszoftverrel végeztük, melynek eredményei az alábbi ábrán láthatóak.

A számítás eredményeként látható, hogy a hőmérsékleti hatás eredményeként a dúcban ébredő mértékadó normálerő 1185,1kN, mellyel egyidejűleg, a dúc önsúlyából adódóan 18,9kNm nyomaték és 6,3kN nyíróerő keletkezik. A dúcolat lehajlása 7mm körüli. A dúcolat kihasználtsága 94%. Fontos megjegyezni, hogy gondos, szakirodalmakban fellelhető eljárásokkal figyelembe vehető a dúc-fejgerenda kapcsolat elfordulással szembeni merevsége, mely jelentősen növeli a dúcolat kihajlással szembeni ellenállóképességét.



35. ábra: Ellenőrzés eredménye

5.1.9.4. Csőtámasz-fejgerenda kapcsolat ellenőrzése

A kapcsolat ellenőrzését, az MSZ EN 199 3 előírásai szerint, de egyszerűsített, «kézi» statikai számításokkal végeztük. Természetesen szerkezeti modellezést lehetővé tevő analitikus vagy végesesemes szoftverekkel is készíthetők számítások, melyekkel kisebb-nagyobb mértékben eltérő eredmények adódhatnak.

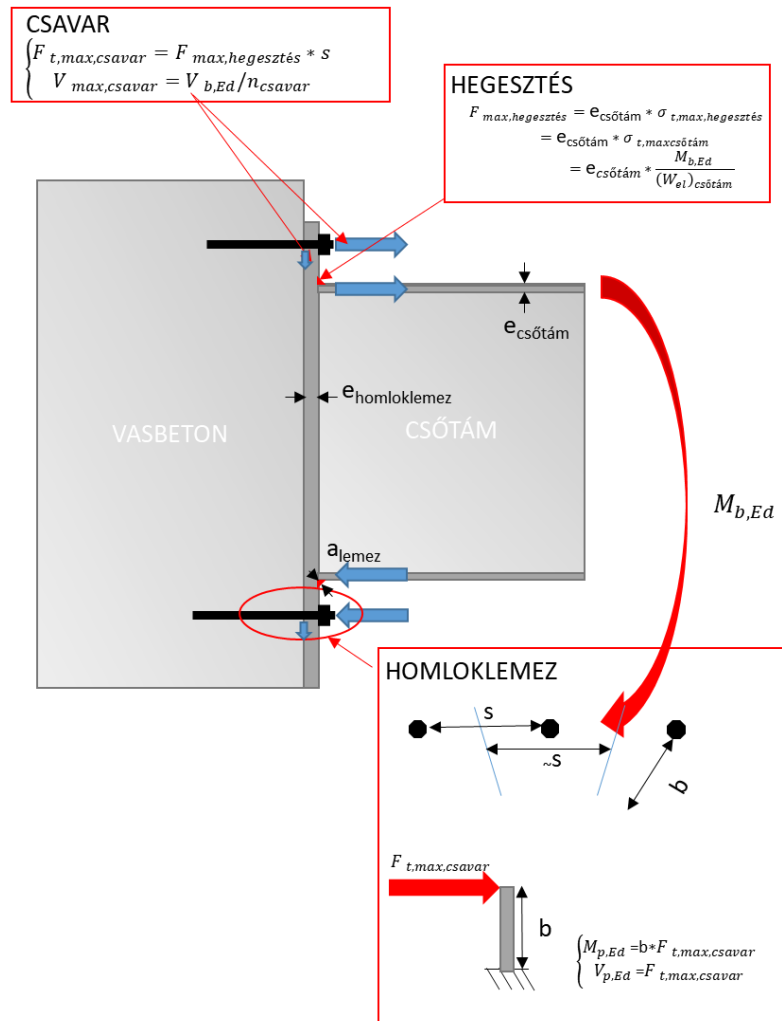
A kiválasztott kapcsolattípus méretezése során három szerkezeti elem ellenőrzése szükséges :

- csavarok ellenőrzése nyírásra és hajlításra
- homloklemez ellenőrzése a csőtám és a csavarok közötti zónában kialakuló hajlítási és nyírési igénybevételekre
- csőtám és homloklemez közötti sarokvarrat ellenőrzése

Jelen esetben, mivel a csőtámasz merőleges a megtámasztott falra, mindhárom szerkezeti elem esetében a mértékadó tervezési állapot a földkiemelés előtti állapot, mikor a dúcerő, mint normálerő nem csökkenti a csavarokra jutó húzóerőt. Meg kell jegyezni, hogy a megtámasztott fallal szöget bezáró csőtámaszok esetén általában a

maximális csőtámasz erőhöz tartozó építési állapot a mértékadó a csőtámasz normálerőből a kapcsolati elemekre jutó nyíróerő komponens miatt.

A mintapéldában alkalmazott nagyon egyszerű, az egyes szerkezeti elemekben kialakuló igénybevételek számítására alkalmazható mechanikai modellt az alábbi ábra ismerteti.



36. ábra: Alkalmazott dúc-fejgerenda kapcsolat

Az alkalmazott dúc-fejgerenda kapcsolati kialakítás a fentiek szerint.

Csőtámasz külső átmérő D_{ext} (mm)	Homloklemez szélesség B (mm)	Homloklemez magasság H (mm)	Homloklemez vastagság e_{lemez} (mm)	Minőség g	Sarokvarrat mérete a_{lemez} (mm)	Csavar db, átmérő, minőség e	Lehorgonyzási hossz $L_{lehorgonyzás}$ (mm)
406	600	600	15	S235	3	6 x M12 Q4.6	250

7. táblázat: Alkalmazott geometria

A csavarok méretezését az alábbi táblázatban feltüntetett, fenti ábra szerint meghatározott igénybevételekre kell ellenőrizni.

Csőtámasz	Csőtám hossza L (m)	Csőtám önsúlya p (kN/m)	Csőtám teljes terhe $P_{tot} = pL$ (kN)	Nyomatéki igénybevétel a csőtám-fejgerenda kapcsolaton $M_{b,Ed} = 1.35pL^2/12$ (kNm)	Nyíróigénybevétel a csőtám-fejgerenda kapcsolaton $V_{b,Ed} = 1.35pL/2$ (kN)
O406X8	12	0.78	9.4	12.6	6.3

8. táblázat: Tám igénybevételek

$M_{b,Ed}$ (kNm)	$V_{b,Ed}$ (kN)	$e_{csőtám}$ (m)	$(W_{el})_{csőtám}$ (m ³)	s (m)	$F_{max,hegesztés}$ (kN/m)	$F_{t,max,csavar}$ (kN)	n_{csavar}	$V_{max,csavar}$ (kN)	Lehorgonyzás.min* (mm)
12.6	6.3	0.008	0.00097	0.2	104	21	6	1.1	250

* A lehorgonyzási hossz az alkalmazni kívánt csavar és ragasztóhabarcs termék leírása alapján számítható.

9. táblázat: Kapcsolati geometria

Az MSZ EN 1993-1-8 szabványban megadott számítási eljárások alapján a 12mm átmérőjű Q4.6 anyagminőségű csavarok teherbírása meghatározható és a csavarok a rájuk jutó igénybevételekre megfelelnek.

$$F_{v,Rd} = 16,2 \text{ kN} > V_{\max,csavar} = 1,1 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 24,3 \text{ kN} > F_{t,\max,csavar} = 21 \text{ kN}$$

A csavarok és a csőtámasz pereme közötti távolság $b = 5 - 1.4/2 = 4.3 \text{ cm}$. A 15mm vastagságú S235 anyagminőségű lemez a benne keletkező hajlító és nyíró igénybevételekkel szembeni az alábbiak szerint megfelel.

$$\begin{cases} \text{si } 0.5 * V_{PL,Rd} = 0.5 * \frac{A f_y}{\gamma_{M0} \sqrt{3}} > V_{Ed} \rightarrow \rho = 0 \\ M_{c,Rd} = \frac{W_{el}(1-\rho)f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{s * e_{lemez}^2}{6\gamma_{M0}} (1-\rho)f_y > M_{Ed} \end{cases}$$

b (m)	$F_{t,\max,csavar}$ (kN)	$M_{p,Ed}$ (kNm)	$V_{p,Ed}$ (kN)	s (m)	$0.5 * V_{PL,Rd}$ (kN/m)	ρ	e_{lemez} (m)	$M_{c,Rd}$ (kNm)
0.043	21	0.9	21	0.2	204	0	0.015	1.76

10. táblázat: Kapcsolati ellenállás - 1

A csótám és a homloklemezközé tervezett 3mm vastag sarokvarrat az alábbiak, az MSZ EN 1993 által ajánlott összefüggések szerint megfelel.

$$F_{Rd,hegesztés} = \frac{a_{lemez} * f_u}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{Mw}} \geq F_{max.hegesztés}$$

ahol az S235 anyagminőségből adódóan $f_u = 360MPa$ és $\beta_w * \gamma_{Mw} = 1$ (S235)

$M_{b,Ed}$ (kNm)	$e_{csótám}$ (m)	$(W_{el})_{csótám}$ (m ³)	$F_{max,hegesztés}$ (kN/m)	Sarokvarrat $a_{hegesztés}$ (mm)	$F_{Rd,hegesztés}$ (kN/m)
12.6	0.008	0.00097	104	3	624

11. táblázat: Kapcsolati ellenállás - 2

5.2. Merev betétes, horgonyzott jet grouting fal ellenőrzése

5.2.1. Bevezetés

Szűk, belvárosi környezetben előfordulhat, hogy úgy kell munkagödört függőleges fallal kiemelni, hogy réselő- vagy cölöpöző géplánc helyszínre szállítására nem optimálisak a feltételek, vagy az építési területen nem biztosítható a résmarkoláshoz, cölöpfúráshoz minimálisan szükséges 10-13m szélességű munkaterület (sáv) 40-80 tonna súlyú gép számára. Ilyen esetben optimális alternatíva lehet a merev betétes, befogott konzolos, vagy horgonnyal gyámoltott jethabarcosítással előállított merev betétes fal. Ez a műszaki megoldás akkor jelenthet reális alternatívát, ha 1-2 szintesnél nem mélyebb földkiemelésről van szó. A jethabarcosítással előállított fal építéséhez elegendő 6-8m széles munkaterület, valamint a jet-fúró gépek is csupán kb. 5-8 tonna önsúlyúak, szemben a jóval nehezebb cölöpöző és réselő gépeknél. A teljes kiszolgáló géplánc (cementsilók, kompresszor stb.) telepítéséhez szükséges felvonulási terület kb. 100m².

5.2.2. Feladat ismertetése

Budapest IX. kerületében egy foghíjtelken társasház építését tervezik, melynek alapozási és pincai szerkezeteinek megépíthetőségéhez 5m mély földkiemelés szükséges. A telek előtt a közterületen építés közben is biztosítani kell a gyalogos ill. jármű forgalom lehetőségét, ezért az utcai telekhatáron is függőleges munkatér-határolás kiépítése szükséges. Az építési telek oldalsó és hátsó határain álló régi épületek sávalapjainak aláfogásáa, alapsík mélyítése jet grouting technológiával készül, így a már a helyszínen lévő technológiát felhasználva, és az organizáció számára

kihívást jelentő helyszűke miatt az utcai oldal megtámasztására merev acél betétes horgonyzott jetgrouting falat tervezünk. A tervezett munkatér határoló szerkezet ideiglenes szerkezet (tervezési élettartama 2év), így végállapotban az épület pincefala viseli a fölnyomást és a víznyomást, tehát azt nyugalmi földnyomásra és a mértékadó talajvíz nyomására kell méretezni.

A munkatér-határoló szerkezet számítását a GEO5 programcsalád *Szádfal méretezés* moduljával végezzük.

5.2.3. Szabványok

- MSZ EN 1990:2011	Eurocode 0: A tartószerkezetek tervezésének alapjai
- MSZ EN 1991-1-1:2005	Eurocode 1: A tartószerkezeteket érő hatások. 1-1. rész: Általános hatások. Sűrűség, önsúly és az épületek hasznos terhei
- MSZ EN 1992-1-1:2010	Eurocode 2: Betonszerkezetek tervezése. 1-1. rész: Általános és épületekre vonatkozó szabályok
- MSZ EN 1993-1-1:2009	Eurocode 3: Acélszerkezetek tervezése. 1-1. rész: Általános és az épületekre vonatkozó szabályok
- MSZ EN 1997-1:2006	Eurocode 7: Geotechnikai tervezés. 1. rész: Általános szabályok
- MSZ EN 1997-2:2008	Eurocode 7: Geotechnikai tervezés. 2. rész: Geotechnikai vizsgálatok
- MSZ EN 12716:2019	Speciális geotechnikai munkák kivitelezése. Jethabarcosítás

5.2.4. Altalajviszonyok

Az helyszín Budapest IX. kerületében található, a Dunától kb. 900m-es távolságra.

A számítás során figyelembe vett rétegződést, karakterisztikus talajjellemzőket, és a nyugalmi talajvíz helyzetét a 37. ábra mutatja.

1F fúrás														
Terep szint	Felső réteg határ		Alsó réteg határ		Réteg-vastagság	Talajmegnevezés	Ajánlott talajfizikai jellemzők							
	mBf	m	m	mBf			m	φ	c	ρ	Es	F	T	V
							°	kN/m ²	kN/m ³	MN/m ²				m/sec
104,57	0,0	104,6	2,9	101,7	2,9	sötétbarna, laza-közepesen tömör, építési törmelékes, homokos feltöltés	25	0	18,0	5	F-II	T-2	Kv-V-3	-
	2,9	101,7	6,4	98,2	3,5	világosbarna, nagyon laza-laza, homokos iszap - iszapos homok	26	5	18,5	10	F-II	T-2	Kv-V-3	10 ⁻⁶
	6,4	98,2	9,7	94,9	3,3	szürke, laza-közepesen tömör-tömör, kavicszemés homokos iszap - iszapos homok	29	5	19,5	18	F-III	T-2	Kv-V-3	5 x 10 ⁻⁶
	9,7	94,9	13,0	91,6	3,3	fekü miocén merev, majd kemény agyag	17	50	20,0	10	F-IV	T-4	GyV-V-3	10 ⁻⁹
Nyugalmi talajvízszint			4,7	99,8										

37. ábra: Az építési helyszínen készített fúrásszelvény (talaj- és talajvíz adatok)

A talajvíz enyhén agresszív, XA1 kitéti osztály szerint kell a talajjal érintkező beton szerkezeteket tervezni, itt azonban ideiglenes szerkezetről van szó, így normál cement alkalmazása is megfelelő.

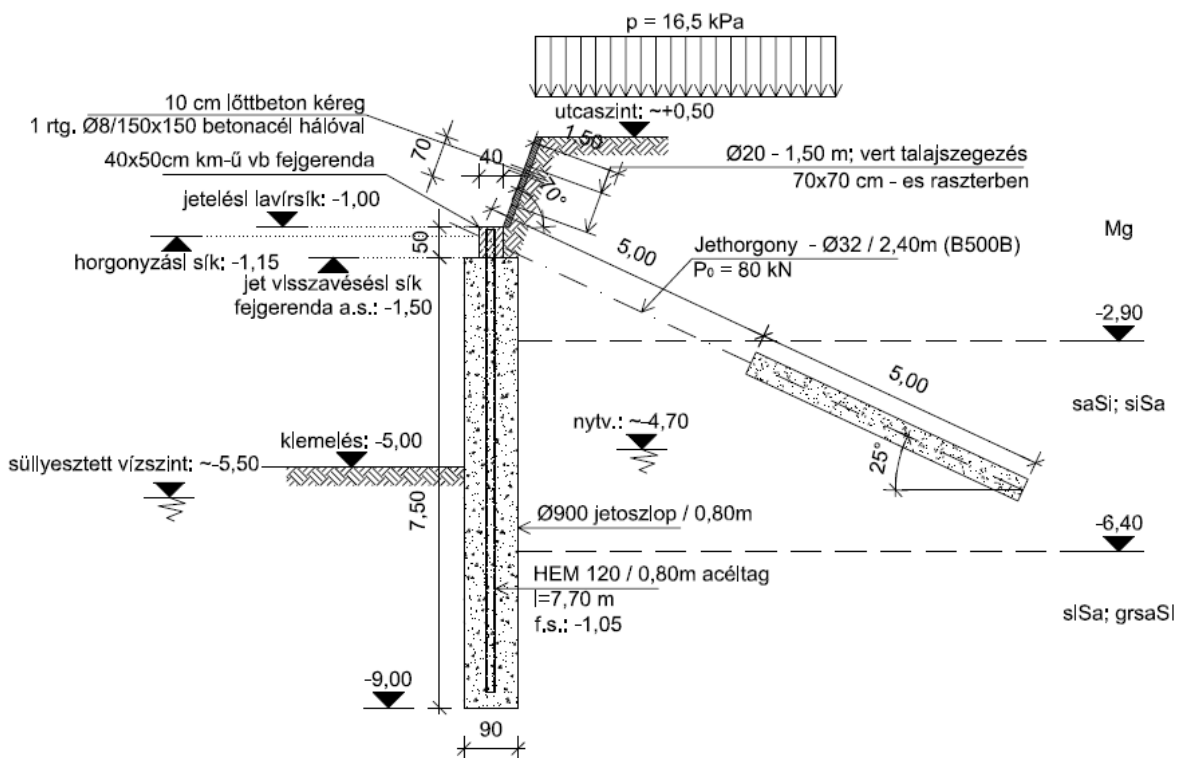
A talajvizsgálati jelentés a földrengés elleni tervezés szempontjából az adott területet az MSZ EN 1998-1-1 szabvány szerinti „C” típusú általános osztályba sorolja. A vízszintes gyorsulás számításakor figyelembe veendő fontossági tényező értéke függ a szerkezet tervezési élettartamától. Az építési állapotra tervezett, ideiglenes szerkezet élettartama során a vízszintes talajgyorsulás szabványban 50 évre tervezett épületekhez megadott referencia értékének bekövetkezési valószínűsége olyan kicsi, hogy jelen szerkezet méretezésénél nem lesz mértékadó a szeizmikus tervezési helyzet. (Részletesebben ld.: Magyar Mérnöki Kamara, Alapozások és Földmegtámasztó szerkezetek tervezése az MSZ EN 1997 szerint c. kiadvány 4. fejezetében)

5.2.5. Szerkezet ismertetése, geometria

A bemutatásra kerülő szerkezetet a 34. ábra szemlélteti. A jet grouting oszlopok 90cm-es névleges átmérővel és 80cm-es tengelytávval készülnek. Minden jet oszlopba kerül egy HEM 120-as acél betét úgy elhelyezve, hogy a gerinclemeze a fal síkjára merőleges legyen. A fal felső síkja -1,0m-en, míg az alsó síkja -9,0m-en van. A merevbetétes jet grouting oszlopok elkészülte után a jet horgonyok építése következik. Ezt követően a jet grouting oszlopok felső síkját vissza kell vésni, majd készül rá egy vasbeton

fejgerenda, mely az oszlopokat összefogja azáltal, hogy ebbe beköt minden egyes merev acélbetét. A horgonyok a vasbeton fejgerendába kötnek be 2,4m-enkénti alaprajzi kiosztással, 25°-os ferdeséggel. Az ún. jet horgonyok 5m-es befogott hosszal, 40cm átmérővel és $\phi 32$ -es betonacél betéttel készülnek. A horgony furatba elhelyezett betét (jelen esetben betonacél, de ez lehet pl. horgonyrúd is) túlnyúlik a fejgerendán úgy, hogy ott a horgonyfej (blokkolás) kialakítható legyen. A vasbeton fejgerendába még betonozás előtt horgonyátvezető szerelvény kerül. A fejgerenda megszilárdulása után a horgonyokat 80kN erővel előfeszítjük, hogy az ezt követő teljes földkiemelés hatására történő feszültség átrendeződés kisebb elmozdulás mellett játszódjon le. (A vasbeton fejgerenda és az ábrán látható löttbetonos, szegezett rézsű méretezésével jelen példa keretei között nem foglalkozunk)

A munkagödör kiemelési síkja -5m, így a talajvíz szintet minimum 80cm-rel süllyeszteni kell ahhoz, hogy az alaplemez alatti ágyazati rétegek megépíthetők és tömöríthetők legyenek. A jet oszlopok összemetsződése könnyíti a talajvíz szint süllyesztését, csökkenti a munkagödörbe áramló víz mennyiségét, azonban a nyomáskülönbségből adódóan járulékos terhet jelent a falra. 80cm talajvíz szint süllyesztés ebben a talajkörnyezetben nyíltvíztartással még megoldható.



38. ábra: Ideiglenes munkatér-határoló szerkezet kialakítása

5.2.6. Anyagminőségek

- Jet oszlopok: szilárdság próbahengeren mérve: - átlag $4,0 \text{ N/mm}^2$
- min. $2,0 \text{ N/mm}^2$
- Betonacél: B500B - $f_{yd}=435 \text{ N/mm}^2$
- Szerkezeti acél: S2365 - $f_u=360 \text{ N/mm}^2$

5.2.7. Terhek

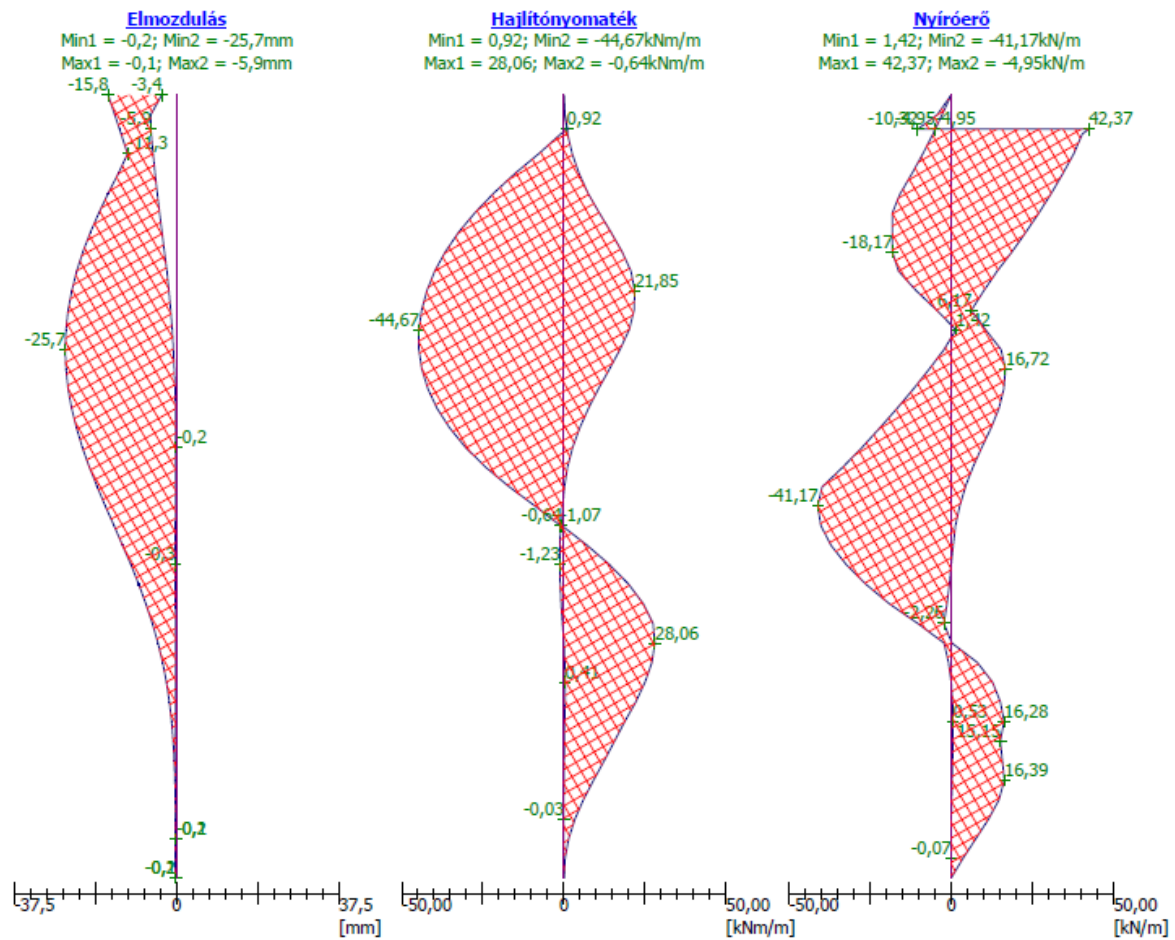
A földnyomásból származó terheket a program automatikusan számolja a tartó hossza mentén az elmozdulások függvényében a földnyomási határértékek között. A víznyomást szintén automatikusan számolja a program a földoldali és a munkagödör oldali beállított vízszintekből.

Hasznos teherként 15 kPa egyenletesen megoszló térszíni terhet vettünk fel, melyet a programba $1,1$ -szeres értékkel növelve adtuk be, hogy az eredményül kapott igénybevételeket (mint karakterisztikus értékeket) az állandó hatásokhoz tartozó $1,35$ -ös parciális tényezővel szorozva juthassunk el az igénybevételek tervezési értékéhez. A program által szolgáltatott eredményben nem különválasztható, hogy a feszültségek hányad része származik földnyomásból, víznyomásból és a felszíni hasznos terhelésből.

5.2.8. Számítás leírása

A szoftver segítségével a talajvizsgálati jelentésben megadott talajfizikai jellemzők karakterisztikus értékével meghatározzuk a fal igénybevételeit minden építési fázisban (jelen példánál: 1. földkiemelés a horgonyzási síkig, 2. horgonyfeszítés, 3. teljes földkiemelés és talajvízszint süllyesztés a munkagödör oldalon). A teherbírás számításához az igénybevételek burkoló ábráját vesszük alapul, amelyekből a szabványos parciális tényezőkkel számoljuk a tervezési értékeket. A szerkezet/talaj kapcsolatot leíró ágyazási tényezőt a program iterációs módszerrel automatikusan számítja minden egyes végelem pontban a talajban ébredő feszültségekből ill. a talajrétegek deformációs modulusaiból Boussinesque elmélete alapján.

A számítás eredményeül kapott burkoló igénybevételei és elmozdulási diagrammok a 39. ábrán láthatók.



39. ábra: Alakváltozási és igénybevételi burkoló ábrák (1 fm-re eső karakterisztikus értékek)

5.2.9. Szerkezetek feszültségeinek ellenőrzése

5.2.9.1. Merev acél betét

Tartó szilárdsági ellenőrzése (STR határállapot)

A merev acél betét hajlított, nyírt szerkezet. A gyakorlatban a biztonság javára közelítve úgy ellenőrizzük, hogy a jethabarcba ágyazottságát figyelmen kívül hagyjuk. Habarcsosított talajtest esetén az előírások szerint amúgy sem vehető figyelembe húzószilárdság, a nyomott oldalon pedig a HE tartó öve és a habarcsosított talaj együttdolgozásának számítása sok bizonytalanságot rejtene.

Hajlításból jövő feszültség ellenőrzése (1. osztályú keresztmetszet-> képlékeny teherbírást vehetünk figyelembe):

$$M_{Ed} = 44,67 \text{ kNm/m} * 0,8\text{m} * 1,35 = 48,24 \text{ kNm} = 4824\text{kNcm}$$

$$W_{pl} = 350,6 \text{ cm}^3$$

$$M_{c,Rd} = W_{pl} * f_y / \gamma_{Mo} = 350,6 \text{ cm}^3 * 235 \text{ MPa} * 1,0 = 8239,1 \text{ kNcm}$$

$$M_{c,Rd} > M_{Ed} \text{ Megfelel (kihasználtság 58,5\%)}$$

Nyírófeszültség ellenőrzése (1. osztályú keresztmetszet-> képlékeny teherbírást vehetünk figyelembe):

$$V_{Ed} = 42,37 \text{ kN/m} * 0,8 \text{ m} * 1,35 = 45,76 \text{ kN}$$

$$A_w = 21,1 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_w * f_y / (3^{0,5} * \gamma_{Mo}) = 21,1 \text{ cm}^2 * 235 \text{ MPa} / (3^{0,5} * 1,0) = 286,3 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} > V_{Ed} \text{ Megfelel (kihasználtság 16\%)}$$

Horpadás és kifordulás nem tud bekövetkezni a jethabarcba ágyazottság miatt.

5.2.9.2. Horgonyzár ellenőrzése

Betonacél szakadásának ellenőrzése ellenőrzése (STR határállapot)

Az ellenőrzést a horgony vizsgálati erejére hajtjuk végre, ami a horgonyerő tervezési értékének 1,1-szerese. Az alkalmazott acéltest 1 db $\Phi 32$ -es betonacél.

$$A_d = 804 \text{ mm}^2$$

$$f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2; \rightarrow F_{Rd} = 804 \text{ mm}^2 * 435 \text{ N/mm}^2 = 349,7 \text{ kN.}$$

$$F_{Ed} = 139,55 \text{ kN} * 1,35 * 1,1 = 207 \text{ kN}$$

$$F_{Rd} > F_{Ed} \text{ Megfelel (kihasználtság 59,3\%)}$$

Betonacél kapcsolati feszültségének ellenőrzése a befogási szakaszon (STR határállapot)

A habarcsosított talajtestnek minimum C2-es betonnal egyenértékű nyomószilárdsággal kell rendelkeznie, amit magminta vétellel ellenőrizni kell. Így a tapadási feszültség tervezési értéke (MSZ EN 1992-1-1 8.4.2 szerint):

$$f_{bd} = 2,25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd} = 0,756 \text{ N/mm}^2$$

A kapcsolati feszültség átlagos értéke a vizsgálati horgonyerőből számítva:

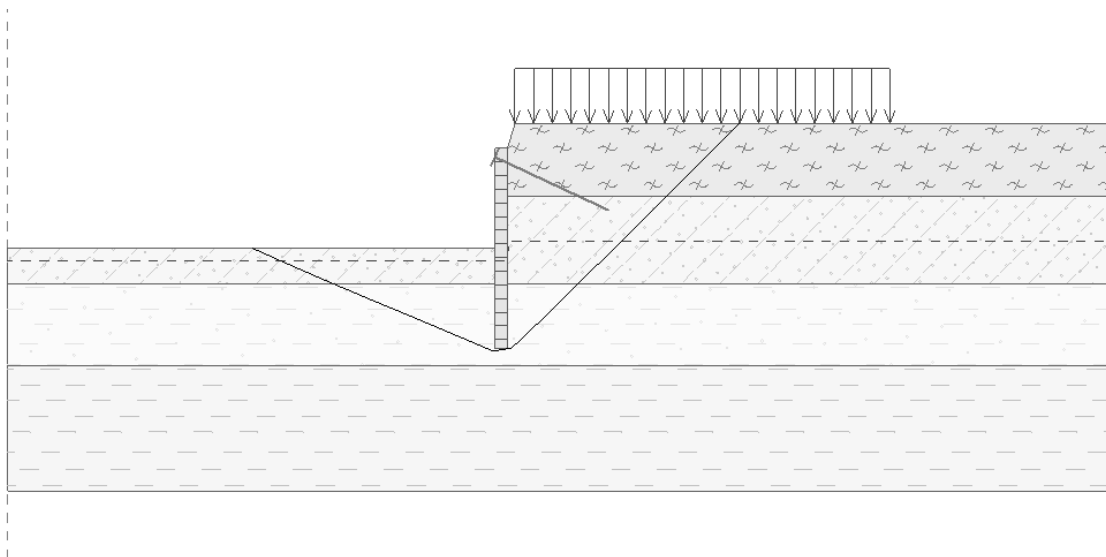
$$f_{Ed} = 207\text{kN}/(3,14 * 32\text{mm} * 5000\text{mm}) = 0,412 \text{ N/mm}^2$$

$f_{bd} > f_{Ed}$ Megfelel (kihasználtság 54,4%)

5.2.10. Talaj feszültségeinek ellenőrzése

5.2.10.1. Külső stabilitásvizsgálat

A külső stabilitás vizsgálat esetén a Jet grouting falnak és a környező földtömegnek egy lehetséges csúszólap mellett történő stabilitásvesztését vizsgáljuk. Ezt a Geo5 geotechnikai szoftverrel oly módon vizsgáljuk, hogy a talajparaméterek tervezési értékükkel vannak számításba véve a DA-3 tervezési módszernek megfelelően. A biztonságot Sarma módszerrel (sokszögvonalas csúszólappal) vizsgáljuk. A szoftver iterációs módszerrel keresi a legkisebb ellenállású csúszólapot. Az eredményt a 40. alábbi ábra mutatja.



Csúszólap az optimalizálás után.

Rézsúállékonyság ellenőrzés (Sarma)

Kihasználtság : 82,7 %

Rézsúállékonyság MEGFELELŐ

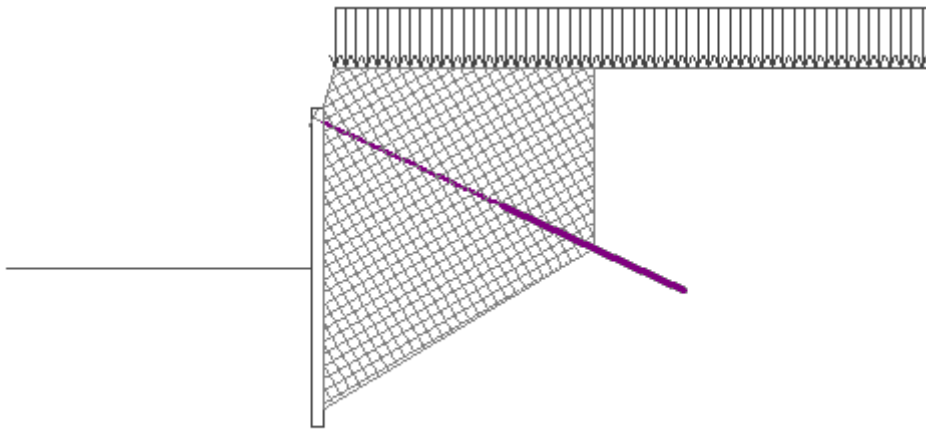
40. ábra: Globális állékonyság vizsgálata (GEO határállapot)

A számítás alapján a vizsgált keresztmetszet globális állékonysága, mely megfelelő. Kihasználtság 82,7 %.

5.2.10.2. Belső stabilitásvizsgálat

Az ellenőrzés során a horgonyzott földprizma egyensúlyát vizsgáljuk. A számítás a Kranz – Ostermayer módszer szerint történik. A megkívánt biztonság parciális tényezője az MSZ EN 1997-1 szerint 1,1 a horgonyerő tervezési értékével szemben. A földék egyensúly vizsgálatakor adódó erők felszerkesztett vektorsokszögeből kiadódó

lehetséges horgonyerőnek kell nagyobbak lennie a biztonsággal számítva ($1,1 \cdot 1,35 = 1,485$), mint az igénybevételként számított esetében. A számítás részleteit ld. a 41. ábrán.



Horgony rendszer belső stabilitása - részeredmények

$E_A = 211,39 \text{ kN/m}$

$\delta = 18,01^\circ$

Elméleti alap mélysége a gödör aljától $H_0 = 3,56 \text{ m}$

Horgony sor	E_{A1} [kN/m]	δ_1 [°]	G [kN/m]	C [kN/m]	θ [°]	Figyelembevett horgony sorok	Q [kN/m]	F [kN/m]	FK_{MAX} [kN]
1	81,98	25,47	1117,96	39,54	30,73		392,01	116,73	280,14

Horgony rendszer belső stabilitásának vizsgálata

Sz.	Horgonyerő [kN]	Max. megeng. horgonyerő [kN]	Ellenőrzés
1	139,55	188,01	megfelelő

Mértékadó horgony sor: 1

Max. megengedett erő $F_{max} = 188,01 \text{ kN} > 139,55 \text{ kN} = F_{inp}$

Belső stabilitás teljes ellenőrzése MEGFELELŐ

41. ábra: Belső stabilitás vizsgálata (GEO határállapot)

A számítás alapján a metszet horgonyrendszerének belső stabilitása megfelel.

Kihasználtság 74,2 %.

5.2.10.3. A horgony befogás ellenőrzése

A jet horgony befogásának számítással történő ellenőrzésére nem ismerünk olyan széles körben elterjedt és megbízható módszert, mint pl. injektált talajhorgonyok esetén az Ostermayer-féle diagrammok. Ezért hasonló talajkörnyezetben végzett próbaterhelések eredményei alapján végezzük a tervezést. Az ilyen módon tervezett jet horgonyok teherbírását ezért minden esetben teherbírás méréssel igazolni kell az adott építés helyén, minden jellemző metszetben, és a mérési eredmények függvényében a kiviteli tervet felül kell vizsgálni, szükség esetén módosítani.

Jelen mintapéldánál a horgony befogási szakasza abba az átmeneti talajrétegbe esik, amit a talajvizsgálati jelentés laza iszapos homoknak definiál. A cpt szonda eredmények alapján ebben a zónában, 3m és 6m mélységtartományban, 4-5 MPa a nyomószonda csúcsellenállásának átlagos értéke. Ez alapján, és a hasonló talajkörnyezetben végzett próbaterheléseink alapján itt kb. 45kPa palást törőfeszültséggel számolhatunk.

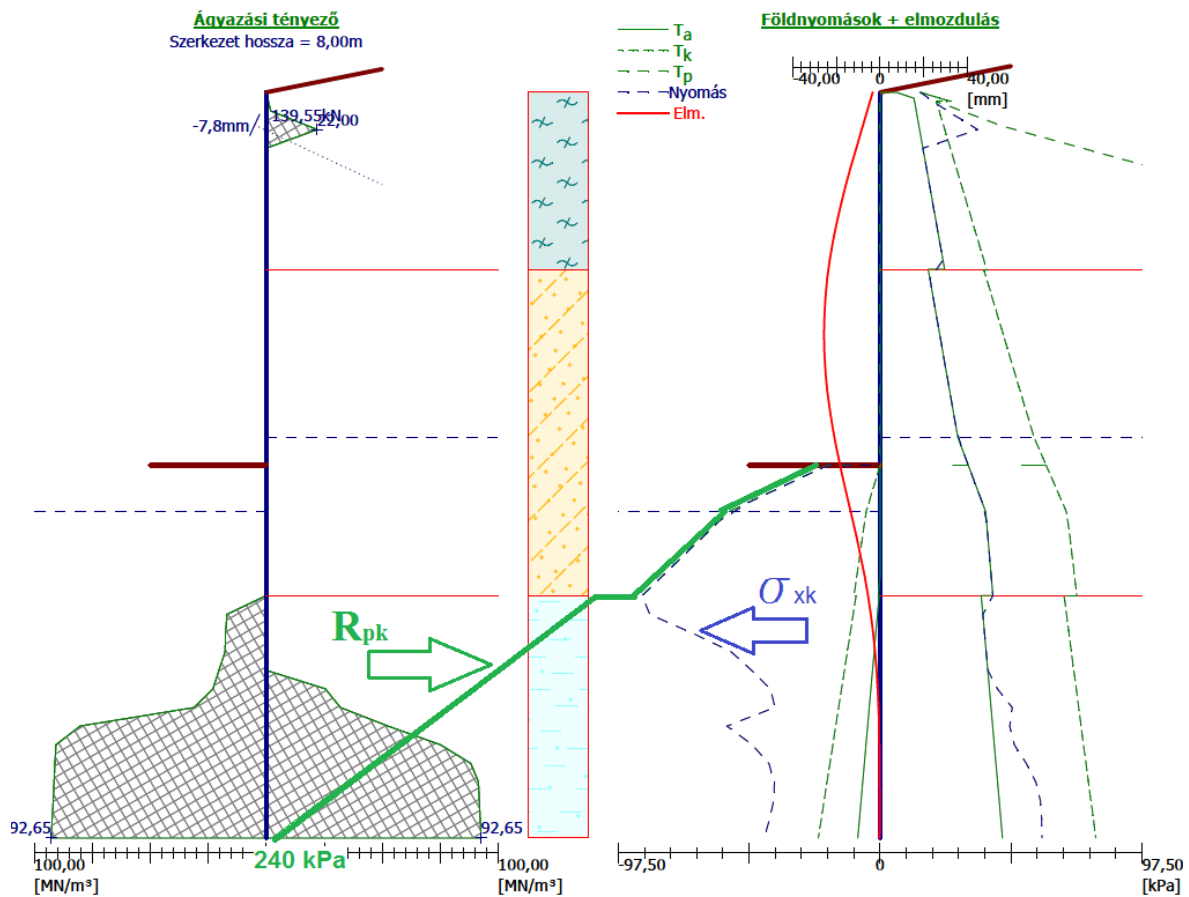
Így a 40cm átmérőjű, 5m hosszú befogási szakasz törőerejének (a horgony kihúzóási teherbírásának) várható értéke:

$$F_{t,cal} = 0,4m * 3,14 * 5m * 45kPa \approx 280 \text{ kN} > F_{ed} = 207kN$$

$$F_{t,cal} > F_{Ed} \text{ Megfelel (kihasználtság: } \sim 74\%)$$

5.2.10.4. A jet grouting fal befogási ellenállásának ellenőrzése

Ellenőrizni kell, hogy a jet grouting fal munkagödör felőli oldalán mobilizált földellenállás megfelelő tartalékkal rendelkezik e a talajtöréssel szemben? A 38. ábrán a jet grouting fal befogott részén, annak belső oldalán kialakuló nyomásábrát lehet látni (σ_{xk}), mely a teljes földkiemelés fázisban a mértékadó, így az ellenőrzést erre az állapotra végezzük el. Szintén az ábrán a passzív földnyomás ábrát (R_{pk}) is lehet látni.



42. ábra: Befogási ellenállás vizsgálata (GEO határállapot)

A szoftver által számított értékek karakterisztikus értékek, azaz a mobilizálódott földellenállást (ágyazati feszültséget) be kell szorozni az 1,35-ös parciális tényezővel, míg a hatékony passzív földnyomás értékeket pedig osztani kell 1,40 parciális tényezővel.

$R_{pk}/1,4 > \sigma_{xk} \cdot 1,35$ A passzív oldali megtámasztottság biztonsággal megfelel.

6. Ajánlott szakirodalmak

Szepesházi R., Meszlényi Zs., Radványi L., Munkatérhatárolások tervezésének magyarországi gyakorlata az EC7 tükrében. Mély munkagödrök határolása. 1. ISSMGE Geotechnikai Mesterkurzus, Budapest, 2009. január

Szepesházi, Attila: Mély munkagödrök 3D végeselemes modellezése pp. 54-79. , 25 p.. In: Huszák, Tamás; Dr. Koch, Edina; Dr. Mahler, András (eds.) XXIII. Széchy Károly Emlékkonferencia. Pécs, Magyarország : Kontraszt Plusz Kft., (2017)

Chadeisson, R. (1961): Parois continues moulées dans le sols. Proceedings of the 5th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 2. Dunod, Paris, 563-568".

Monnet A. (1994) Module de réaction, coefficient de décompression, au sujet des paramètres utilisés dans la méthode de calcul élasto-plastique des soutènements

Schmitt, P. (1995): "Estimating the coefficient of subgrade reaction for diaphragm wall and sheet pile wall design", in French. Revue Française de Géotechnique, N. 71, 2^o trimestre 1995, 3-10.

EN16228-2014 Fúró- és alapozóberendezések. Biztonság. 1. rész: Közös követelmények (angol nyelven)

ISO szintre emelkedik rövidesen

BR470 – 2004. Working platform for tracked plant: Good practice guide to design, installation, maintenance, repair of ground-supported working platforms. (Waford: BRE Bookshop)

Móczár, Balázs ; Csapody, Gergő ; Szepesházi, Attila BUDAPESTI MÉLY MUNKATÉRHATÁROLÁS 2D ÉS 3D NUMERIKUS BACK-ANALÍZISE. VASBETONÉPÍTÉS: A FIB MAGYAR TAGOZAT LAPJA: MŰSZAKI FOLYÓIRAT : (2) pp. 34-41. (2016)

Soletanche Bachy Technical guide 2011

P. Schmitt, E. Bazin, C. Gilbert, J.-F. Ragu Effect of non-uniform loads on earth retaining structures. Proceedings of the 13th international conference on soil mechanics and foundation engineering. New Delhi. 1994.

NF P 94-282 (Mars 2009) Norme Française – Calcul géotechnique – Ouvrages de soutènement – Écrans

TA 95 Recommandations concernant la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle des TI-RANTS D'ANCRAGE – T.A.95 – Comité Français de la Mécanique des Sols et des Travaux de Fondations

A sorozat keretében eddig megjelent kiadványok

1. NÉMETH András, MILÁVE CZ Richárd Iparban használatos vízminőségek
2. DR. SZILÁGYI Zsombor, DR. SZUNYOG István Mérések a gáziparban
3. DR. BARNA Lajos, EÖRDÖGHNÉ DR. MIKLÓS Mária, DR. SZÁNTHÓ Zoltán, DR. BALLA József A biztonságos ívóvízellátás megteremtésének tervezési eszközei
4. BORBÁS Lajos Dr. Felépítés elvű (additív) gyártástechnológiák a gépészetben
5. BERENCSI Miklós, BERE CZKY Ákos, HORVÁTH László, KOVÁCS Gergely, MIHÁLFFY Krisztina Kerékpárosbarát közlekedéstervezés
6. TŰDŐS Tibor, DR. VARJÚ György, DR. PETRI Kornél, GÁBOR András A csillagpontkezelés legújabb külföldi és hazai eredményei (Útmutató és tervezési segédlet)
7. DR. GARBAI László, DR. JASPER Andor, VÁRADI András Fűtési és használati melegvíz-igények kockázati elvű méretezése példákkal
8. KÁDI Ottó, DOHÁNY Máté, JÓZSA Bálint, LÁSZLÓ Csaba Tibor, JAKKEL Ottó A közúti vasutak (villamos) tervezésével kapcsolatos kézikönyv
9. BLAZSOVSZKY László A gázfogyasztó készülékek égéstermék elvezetésével kapcsolatos szabályozások hiányosságai és ellentmondásai
10. CSORDÁS Szilveszter, FORGÁCS Lajos Dr., PÓLYA Endre ifj., RÉV Zoltán, UD VARDY Péter Orvostechnológiai továbbképzés ismeretanyaga
11. NÁDASDY Tamás, EGYHÁZY Zita, KOVÁCS Ákos Sándor, SZECSŐ Dániel Géza A közúti biztonsági audit (KBA) jelentések elkészítésének alkalmazási segédlete – A közúti infrastruktúra közlekedésbiztonsági kezeléséről szóló jogszabályhoz és ütügyi műszaki előíráshoz kapcsolódó értelmezési, kidolgozási és elfogadtatási javaslatrendszer
12. DR. SZILÁGYI Zsombor, HORÁNSZKY Beáta Földgáz kereskedelem (mérnöki segédlet)
13. DR. SZILÁGYI Zsombor Az energiahordozók jövője – kőolaj, földgáz, megújulók
14. S. VÍGH Judit, DOHÁNY Máté Magános közlekedők baleseti súlyosságának csökkentése mobil applikáció segítségével
15. DR. BALIKÓ Sándor, DR. CSŰRÖK Tibor, NOVÁK Dániel, ORBÁN Tibor, DR. ZSEBIK Albin Ötletlapok I. – Energiahatékonyság növelő ötletek egyszerű energetikai és gazdasági számításai
16. DARABOS Zoltán, KOLTAI Henrik, SZABÓ Tamás, SZÁSZ Béla, VAJDA Sándor Felvonók felújítása és átalakítása – Műszaki segédlet
17. TŰDŐS Tibor, KRUPPA Attila Alapozásföldelők új tervezési elvei és kivitelezési módszerei – Tervezési segédlet és kivitelezési útmutató
18. FENYVESI Zsolt Tűzvédelmi tervek tartalmi szabályainak átdolgozása
19. GÁBORI László Dr., BEINSCHRÓTH József Dr., NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás Nagyméretű informatikai beruházásoknál (fejlesztéseknél) ajánlott szoftveroldali tervdokumentációk tartalmi elemeinek meghatározása (I. – II. kötet)

- | | | |
|-----|---|---|
| 20. | DR. DIVÓS Ferenc | Az élő fák stabilitása – mérnöki megközelítés – Élő fák, mint teherhordó faszerkezetek |
| 21. | DR. KARÁCSONYI Zsolt | Faanyagok tartós szilárdsága |
| 22. | BARNA Lajos Dr., ERDEI István,
JASPER Andor Dr., TAKÁCS Gyula | Segédlet épületek csatorna-berendezéseinek tervezéséhez |
| 23. | ANTÓK Péter István, FÜZÉR Ferenc,
SÁRKÖZI András | Fényvezető kábelszakaszok műszaki-minőségi ajánlás gyűjteménye |
| 24. | JANCSÓ Béla, DR. KULCSÁR
Alexandra, NÉMETH Gábor, DR.
VÍMI Zoltán, DÉRI Lajos,
SZIMANDEL Dezső | Vízjogi engedélyezési eljárással kapcsolatos dokumentációk és engedélyeztetéssel kapcsolatos követelmények a 2018.01.01-én hatályba lépett 41/2017. (XII.29.) BM rendelet alapján |
| 25. | DR. TAKÁCS Bence, DR. SIKI Zoltán,
DR. ÉGETŐ Csaba, BÉNYI László | Mérnökgeodéziában alkalmazott alapponthálózatok – A jó gyakorlat bemutatása mintapéldákkal |
| 26. | DR. MÓCZÁR Balázs, LAUFER Imre,
TÓTH Gergő, WOLF Ákos | Korszerű támszerkezetek tervezése |
| 27. | HALÁSZ Györgyné Dr.,
CSERVENYÁK Gábor, TUCZAI Attila,
VIRÁG Zoltán | Különböző funkciójú épületek klimatechnikája II. |
| 28. | KÁDI Ottó, JÓZSA Bálint | Kerékpáros balesetek létesítmények szerinti vizsgálata |
| 29. | GARBAI László Dr., JASPER Andor
Dr., PELLER József Bendegúz | Hőteljesítményátviteli tényező alkalmazása távhőrendszerek optimális szabályozásának modelljében |
| 30. | GARBAI László Dr., SÁNTA Róber
Dr., JASPER Andor Dr. | A kompresszoros hőszivattyúk optimalizálása – Tervezés és üzemeltetés |
| 31. | LADÁNYI Gábor Dr. | Diagnosztika a karbantartásban |