



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR

FÖLDMEGTÁMASZTÓ SZERKEZETEK KÖLTSÉGHATÉKONYSÁGI
VIZSGÁLATA

TDK dolgozat

VÁMOS MÁTÉ

Szerkezet-építőmérnök mesterszak
Első éves Msc hallgató

Konzulens:

Dr. Szendefy János Adjunktus
BME Geotechnikai Tanszék

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés	
1.1. Kivonat	4
1.2. Témaválasztás indoklása	5
1.3. Szerkezetek kiválasztásának szempontjai.....	5
1.4. Szerkezetek gazdaságossága	7
2. A modell ismertetése	9
2.1. A költségek összetevői	9
2.2. Geometriai modell	10
2.3. Anyagmodell.....	12
2.4. Vizsgált szerkezet típusok	14
2.5. Számítási módszerek	17
2.6. A modell hiányosságai.....	20
3. A téma irodalmának feldolgozása.....	21
4. A számítás eredményei	24
4.1. Rézsűk	24
4.2. Súlytámfalak.....	26
4.3. Szögtámfalak.....	28
4.4. Befogott résfalak.....	31
4.5. Horgonyzott résfalak	31
4.6. Georáccsal erősített talajtámfalak	33
4.7. Talajszegezés	34
4.8. Hibrid falak.....	35
5. Költségek számítása	36
5.1. Rézsűk költségei	36
5.2. Súlytámfalak költségei.....	38
5.3. Szögtámfalak költségei.....	40
5.4. Befogott résfalak költségei.....	43
5.5. Horgonyzott résfalak költségei	45
5.6. Georáccsal erősített talajtámfalak költségei	46
5.7. Talajszegezés költségei	48
5.8. Hibrid falak költségei	50

6. Eredmények értékelése	53
6.1. Költséghatékonyság vizsgálat	53
6.2. Árérzékenység vizsgálat	57
7. Összefoglalás	60
8. Jövőbeni kutatás	61
9. Köszönetnyilvánítás.....	62
10. Irodalomjegyzék	63

1. Bevezetés:

1.1. Kivonat:

Dolgozatom témája a földmegtámasztó szerkezetek költséghatékonysági vizsgálata. Ennek során, hazai körülmények között elemzem, hogy a gyakorlatban alkalmazott földmegtámasztó szerkezetek mekkora fajlagos költséggel építhetők meg a magasság függvényében. A kutatás eredményeként szeretném a költség-magasság függvényeket előállítani, majd ezek alapján az adott magassági tartományhoz meghatározni a gazdaságilag optimális szerkezetet.

A diagramok előállításával az is a célom, hogy ezek segítségével egy döntéshozó a projekt előkészítési fázisban ki tudja választani a leggazdaságosabb megoldást. Ez elsősorban a kiviteli terv előtti tervszintekre vonatkozik, ahol a környezeti adottságok még csak nagyvonalakban ismertek, pl. egy homokos területen kell egy öt méteres bevágást létesíteni. Milyen földmegtámasztó szerkezetet használjon a tervező, hogy gazdaságos szerkezetet tervezzen? Egy gyakorlott geotechnikus tervező mérnök erre tapasztalatból könnyen válaszol, azonban egy kezdő mérnök, vagy projekt menedzser lehet, hogy nem az ideális megoldást választja, ezzel komoly többletköltséget ró a projektre. Fontosnak tartom már itt megjegyezni, hogy az elkészített diagramok csak a költség trendeket mutatják, és nem helyettesítik a szerkezetek szabványos méretezését.

A függvényeket főleg infrastrukturális, valamint zöldmezős beruházásokhoz kapcsolódó szerkezetekhez készítettem. Ebből következik, hogy nem ajánlott a használata városi környezetben, ahol nagy a beépítettség és az épületek zárt sorúan csatlakoznak egymáshoz. Ennek oka, hogy ilyen esetben a környező



1. ábra: Georáccsal erősített talajtámfal (Szendefy, 2012b)

épületek süllyedéstűrése határozza meg a szerkezet

méreteit, ezáltal a költségeit. Az ilyen szerkezeteknél a helyi adottságok sokkal jobban befolyásolják a végeredményt, minthogy abból egy általános következtetést lehessen levonni.

1.2. Témaválasztás indoklása:

Miért is választottam ezt a témát? Miért van szükség arra, hogy gazdaságosan, minél kevesebb erőforrás felhasználásával építsük meg szerkezeteinket? Úgy vélem, hogy erre a kérdésre a legjobb választ úgy kaphatjuk, ha megnézzük az építőmérnök definícióját az angol Építőmérnöki társaság 1828-ban kiadott alapító okmányában. E szerint az építőmérnök az a foglalkozás, amely „a természet erőforrásait az emberiség kedvére és javára fordítja”. Ez a közel kétszáz éves megfogalmazás több mint egy évszázadig jól írta le az építőmérnökök kötelezettségét és feladatát. Az elmúlt évtizedekben azonban egyfajta szemléletváltás történt (vagy kellett volna történnie), amely szerint a természet újabb és újabb kiaknázása helyett egyfajta osztársadalmi kontrollra lenne szükség (Hegedűs, 2011).

Ezt az indokolja, hogy megjelent egy etikai igény, „hogycsak olyan fenntartható fejlődésnek lehet létjogosultsága, amely anélkül elégíti ki a jelent nemzedékek igényeit, hogy ezzel veszélyeztetné a jövő generációk életfeltételeit” (Hegedűs, 2011, p3). A fenntartható fejlődés létjogosultságát az indokolja, hogy az emberiség előtt világossá vált, hogy a Föld erőforrásai végesek.



2. ábra: Talajszegedett rézsű, a természetbe illesztve (California Department of Transportation, annual accomplishment report, 2004)

Mi építőmérnökök, akik azzal foglalkozunk, hogy a természet erőforrásai a saját hasznunkra fordítsuk, kötelességünk (a lehetőségeinkhez mérten) mindent megtenni annak érdekében, hogy az általunk készített létesítmények ne legyenek erőforrás pazarlók, ne éljék fel a jövő nemzedék tartalékait. Más megfogalmazásban kötelességünk a szerkezeteinket gazdaságosan, minél kisebb nyersanyag ráfordítással megépíteni.

1.3. A szerkezet kiválasztásának szempontjai:

Természetesen egy adott feladatot többféle műszaki megoldással is meg lehet oldani, és a döntés felelőssége a mérnököt terheli. A tervezés során persze számos dolgot figyelembe kell venni, mint például a műszaki lehetőségeinket vagy az adott szerkezet statikai korlátait. További fontos szempont a vizsgált területen fennálló helyi korlátok, pl.: nem tudunk rézsűt alkalmazni, ha nem áll rendelkezésünkre

elegendő hely, stb. A környezetvédelmi és esztétikai korlátok lényegében megegyeznek a bevezetőben megfogalmazott fenntartható fejlődéssel, kiegészülve azzal a követelménnyel, hogy a szerkezet lehetőleg illeszkedjen a tájba. Szóba jönnek még olyan egyéb korlátok, mint pl. a politika vagy a szokások. (Czap, 2011)



3. ábra: Talajszegezés autópálya mentén, esztétikus megjelenés (Czap, 2011b)

Az utolsó szempont az egyes szerkezettípusok kiválasztásánál nem más, mint az általam vizsgált gazdaságosság. A gazdaságosság alatt azt értem, hogy pénzt és időt akarunk megtakarítani az építkezés során. Ezt azzal a mondással lehet jól összefoglalni, hogy jót, gyorsan és olcsón akarunk építeni, de csak kettőt választhatunk. Egy gazdasági optimumkeresésnél könnyen bele lehet esni abba a hibába, hogy nagyobb kockázatvállalással csökkentem a szerkezeti méreteket, cserébe költséget takarítok meg. De mi a helyzet akkor, ha teljesen rossz irányba indultam el? Mi van akkor, ha egy eltérő műszaki változattal, lényegesen kisebb kockázat mellett is gazdaságosabb szerkezet építhető? Tanulmányom célja, hogy segítséget nyújtson a „jó” irányban elindulni egy tervezőnek, megmutatni azokat az szerkezeteket, amelyek gazdaságosak, versenyképesek lehetnek. Az utóbbi évek megváltozott közgazdasági körülményei drasztikus lépésekre készítetik a mérnököket, és lassan már az az elvárás, hogy a szerkezet jó, gyors és olcsó is legyen. E tanulmány megpróbál segítséget nyújtani az optimális szerkezet kiválasztásában.

1.4. Szerkezetek gazdaságossága:

Az építőmérnöki gyakorlatban a tervezett létesítmény számos követelménynek kell megfeleljen. Az utak és autópályák földműveire és kapcsolódó geotechnikai szerkezeteire vonatkozó követelményeket foglalja össze az ÚT 2-1.222 útügyi műszaki előírás. Ezek jól illeszkednek az általam vizsgált problémához, hiszen a földmegtámasztó szerkezeteket igen gyakran az út- és vasútépítésben használják. A műszaki előírás által megfogalmazott követelmények pedig, hogy a földmű és a kapcsolódó geotechnikai szerkezetek legyenek az adott környezeti, terep-, talaj- és talajvízviszonyok között funkcionálisan alkalmasak, statikailag megfelelők, kivitelezhetők, környezetbarátok és esztétikusak, tartósak, ill. fenntarthatók, valamint gazdaságosak. Az előírás megjegyzi, hogy a szerkezet méreteinek, anyagának és elrendezésének megválasztásakor törekedni kell arra, hogy a követelmények optimálisan teljesüljenek (Szepesházy et al., 2006). Mivel a követelmények egyenrangúak a tervezés során csak az összes követelmény optimumát tudjuk megtalálni, ezért bizonyos esetekben az egyik követelmény javára le kell mondanunk a másik követelmény prioritásáról.

Tanulmányom a fenti követelmények közül a gazdaságosságra fog fókuszálni. A tanulmányban csak a bevezetőben tértem ki a környezetbarát, esztétikus illetve fenntartható kialakítás vizsgálatára, ugyanakkor a statikai megfelelőséget és a kivitelezhetőséget kiemelt helyen kezeltem a gazdaságosság mellett. A szerkezet vizsgálata során a leggazdaságosabbnak azt



4. ábra: Résfal autópálya mentén, kevésbé esztétikus megjelenés (Czap, 2011b)

tekintettem, amelyik még éppen kielégíti a statikai követelményeket amellet, hogy megépíthető. A statikai megfelelőségnél nem csak a teherbírási határállapot elkerülését, vagyis törés és állékonyságvesztés jellegű tönkremenetelt, hanem a használhatósági határállapot elkerülését, azaz megengedhetetlen mértékű elmozdulások és deformációk elkerülését is teljesíteni kell.

Az előírás megjegyzi továbbá, hogy a földművek építésének egyes bizonytalanul megítélhető feladatainál elfogadható a nagyobb kockázatvállalással járó, de jelentős költségmegtakarítást

eredményező megoldás, ha az esetleges tönkremenetel nem veszélyeztet emberéletet és más jelentős értéket, és megfigyeléses módszerrel időben felismerhető és megfékezhető.



5. ábra: Rosszul megtervezett megerősítés következménye (Minnesota Department of Transportation, 2012)

2. A modell ismertetése

2.1. A költségek összetevői:

Ebben a fejezetben fejtem ki, hogy az összköltséget milyen összetevőkre bontottam, milyen tényezőket vettem, illetve milyeneket nem vettem figyelembe. Az általam vizsgált költség-modellt konzervatívnak nevezném, mivel főként az építés és kivitelezés költségeit vizsgálom, és nem veszem figyelembe az egyéb járulékos költségeket, amelyek adott esetben jelentős hányadot tehetnek ki a projektnél, pl.: a biztosítások, esetleges tönkremenetelből következő kárelhárítás. A másik fontos eleme a modellemnek, hogy dinamikusán változtathatóak az egyes paraméterek, ezáltal elkerülhető az eredmények avulása. Ily módon figyelembe vehető az, ha egy költség összetevő (pl. betonacél, földmunka, stb.) jelentősen megdrágulna, és így egy erre építő technológia, ami addig versenyképes volt, a drágulás hatására már nem lesz az.

Amikor a szerkezetek költségeit vizsgáltam, három fő költség összetevőt vizsgáltam. A három összetevő a szerkezet megvalósításának költségei, a kapcsolódó földmunka költségei, és a szerkezet által elfoglalt terület kisajátítási költségei. Az általános, technológiától függő fix költségeket (pl. egy résfalazásnál a géplánc felvonulásának költségeit) megpróbáltam kiszűrni a rendszerből úgy, hogy „elegendően” hosszú építési szakaszt feltételeztem, így az egy méterre eső költség a nullához konvergált.

A szerkezet megvalósításának költségei az anyag és élőmunka költségeiből tevődik össze. A kisajátítási költségek figyelembe vételének oka, hogy a szerkezet által elfoglalt terület kisajátítási költségei egészen változatosak lehetnek. Például egy olyan technológia, amely nagy területet foglal el (pl. rézsű), versenyképes lehet olyan területen, ahol a terület kevésbé értékes, és így a kisajátítási költségek is alacsonyak, de ha egy „felkapott” környéken szeretnénk ugyan ezt megtenni, ahol a telek költsége magas, valószínűleg a rézsű már nem lesz versenyképes. Úgy vélem, hogy ez a módszer még nem túl bonyolult, de már elegendő dolgot vesz figyelembe, hogy reális eredményt adjon.

A költségfüggvényeket az Excel program segítségével készítettem el. Ennek előnye, hogy széles körben elterjedt és mindenkitől elvárható a felhasználói szintű ismerete. Az egyes költségösszetevők változásának hatását egyetlen cella átírásával le lehet írni, és egyből napra kész eredményeink lesznek. A kisajátítási költségekre ez szintén igaz, így a program nem lesz statikus, bármikor az adott helyszíni adottságokhoz igazítható, naprakész eredményt biztosít.

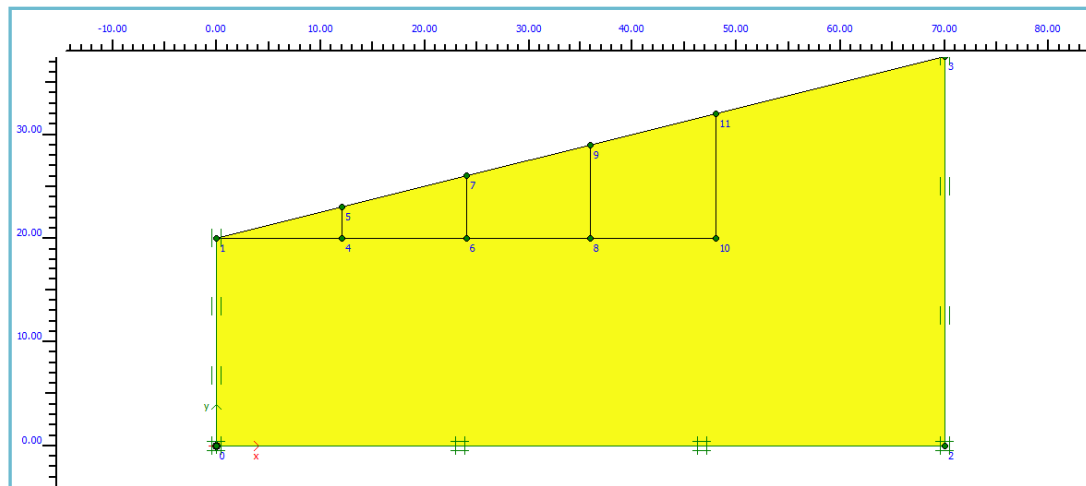
Néhány szót szeretnék szólni azokról a költségekről, amelyeket nem vettem figyelembe a számítás során. Ilyen költségek például a tervezés költségei. Ennek becslésébe nem bocsátkoznék, másrészt

lényegesen függ a feladat nagyságától és bonyolultságától. A következő nagy csoport, amely főleg a kivitelezés alatt fontos, az a biztosítási és monitoring költségek. Egy nagyobb építkezés esetén elkerülhetetlen egy monitoring rendszer kiépítése, és a szerkezet mozgásainak folyamatos megfigyelése. Elhanyagolása azzal indokolható, hogy egy ilyen rendszer kiépítése elsősorban városi, beépített környezetben fontos, és mint említettem, ez vizsgálatomnak nem tárgya. Az építés alatti ideiglenes létesítmények építésének és elbontásának költségei, valamint az építés alatti akadályoztatás miatti kártalanítások költségei is feladattól függően jelentősek lehetnek, azonban ezzel nem számolok. A dolgozat során nem vettem figyelembe az élettartam alatti fenntartási és felújítási költségeket, továbbá az esetleges tönkremenetelből következő helyreállítási költségeket.

2.2. A geometriai modell:

Ebben a fejezetben a modell megválasztásának szempontjait és felépítését fogom részletezni. A gazdaságosságot számtalan geotechnikai feladatra elő lehetne állítani, ilyen például a töltésépítések, bevágások, munkatér-határolások stb. A feladat kezelhetősége érdekében egy olyan modellt választottam ahol egy lejtős, beépítetlen domboldal bevágása során vizsgálom a megtámasztó szerkezeteket. A domboldalt végtelen hosszúnak feltételeztem, egyenletes 1:4-es meredekséggel. A modellt alkotó talaj minden esetben homogén. A domboldalt a síkra merőlegesen kvázi végtelennek, 1km hosszúnak tekintettem. Ilyen hosszú szakaszon a fix költségek már nem befolyásolják annyira az eredményeket, mert beolvadnak a költségekbe. Természetesen egy külön vizsgálatot lehetne végezni arra vonatkozólag, hogy az épülő műtárgy hossza mennyiben befolyásolja a költségfüggvényt, hiszen például ha egy relatív rövid szakaszt vizsgálok, akkor olyan technológia lesz gazdaságos, amelynek alacsony a felvonulási (fix költsége). A vizsgálat további egyszerűsítése és kezelhetősége érdekében talajvizet, valamint rétegvizet nem vettem figyelembe. Ugyan csak nem vettem figyelembe esetleges felszíni terheket.

Ezeket az egyszerűsítéseket az indokolja, hogy a vizsgálat során az elsődleges cél az egyes műszaki megoldások fajlagos költség-magasság tendenciáinak megfigyelése volt, és nem a szerkezetek minél pontosabb, részletes méretezése. Nyilván való, hogy rengeteg apró tényezőt figyelembe lehetne venni a számítások során, amely akár a szerkezet erőjátékát döntően befolyásolhatja, (pl.: rétegvizek, nagy felszíni terhek) azonban ezek figyelembe vételével a lényeg könnyen elveszne a részletekben.



6. ábra: Az alkalmazott geometria

A korábban említett költségfüggvényt úgy állítottam elő, hogy bizonyos magasságokban meghatároztam az értékeket és az így kapott pontokat összekötöttem. A vizsgálat intervalluma 3 és 12 méteres magasságok között volt, 3 méteres osztásközzel. Ennek oka, hogy igyekeztem a 2. és 3. geotechnikai kategória határán mozogni. A geotechnikai szerkezetek tervezését a vonatkozó szabványok szerint a szerkezet geotechnikai kategóriába sorolásával kell kezdeni. Ennek során figyelembe kell venni a tartószerkezet méreteit, bonyolultságát és a hozzá kapcsolódó tapasztalatokat, valamint a feladat során felmerülő kockázatokat (Szepesházi, 2008). Ezen kívül különösen fontos szempont a talajadottságok, valamint a környezeti körülmények ismerete. Mivel az általam vizsgált feladat egy idealizált környezet, ahol a talajt ismertnek és homogénnek feltételezem, nincsenek környező épületek, amelyeket veszélyeztetnénk az építéssel, ezért csak az épített szerkezet méretén múlik a geotechnikai kategória. Más források (Szepesházi et. al, 2006) részletesebben sorolják fel, hogy mely körülmények fennállása esetében lehet a feladatot egy bizonyos kategóriába besorolni. A második kategória feltételei például, hogy a terep lejtésének 10° és 25° között kell lennie, valamint a létesítmény nem omlás- és csúszásveszélyes területen épül. Ezek az általam választott geometria és a talaj, valamint a környezet idealizálása miatt teljesülnek. A 10 méternél mélyebb bevágások, valamint a 6 méternél magasabb támszerkezetek azonban már túlmutatnak a 2. geotechnikai kategória határain.

Úgy véltem, hogy 3 m-es magasság alatt nem lett volna érdemes foglalkozni a problémával, mivel az egyes műszaki megoldások között nincs olyan jelentős anyagi eltérés. A felső határt jelentő 12 méter pedig a saját tudásom és tapasztalatom határa is egyben. A tendenciák megfigyelésére a 3 és 12 méter közötti vizsgálat éppen elegendőnek bizonyult. Természetesen a három méter alatti sáv vizsgálata egy külön tanulmányt is megérne, hiszen elsősorban a családi házak kertépítése, kertrendezése főleg ebben a tartományban mozog. Ezek nem jelentenek olyan komoly földmunkát, mint az általam vizsgált tartomány, azonban nagy számuk miatt ennek is jelentősége lehet. A 12 méter fölötti

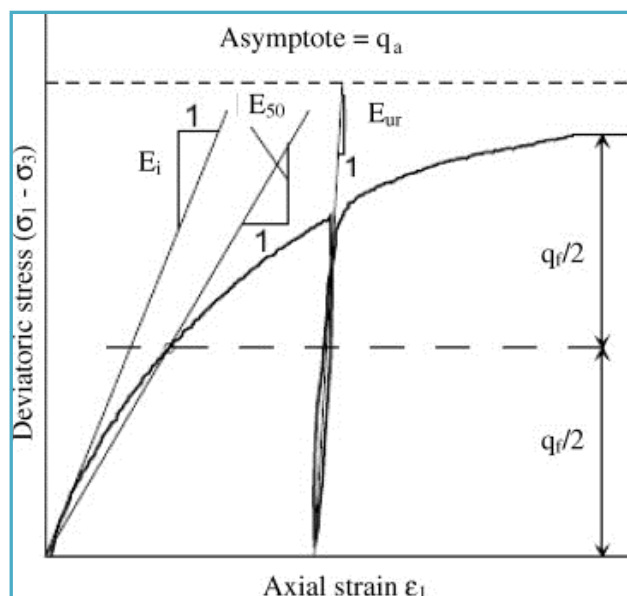
földmegtámasztások esetén szakértő bevonására lehet szükség. Ebben a tartományban már az egyedi körülmények sokkal jobban befolyásolják a végeredményt, minthogy azt egy idealizált, homogénizált modellel helyettesíteni lehessen. A fenti indokok miatt választottam a 3-6-9-12 méteres magasságokat.

2.3. Anyagmodell:

A következő fejezetben az alkalmazott anyagokat és tulajdonságaikat fogom bemutatni. Az első és legkézenfekvőbb használt anyag az maga a talaj. A talaj ilyen szintű részletezését azért tartom fontosnak, mert a talajok alapvető tulajdonsága döntően tudja befolyásolni mind a szerkezetekre ható erőket, mind az építéstechnológiát. Mivel a tanulmány célja a hazai viszonyok tükrözése, ezért értelem szerűen tipikus magyarországi talajokat vizsgáltam. A vizsgálatokat három, minőségben egymástól eltérő talajtípusra, egy szemcsés homok, egy átmeneti homokos iszap és egy kötött agyag talajra végeztem el.

A homok nyírószilárdsági paramétereit szakirodalmi ajánlások (Czap, 2011; Kolosky, Schwarz, 1989) és a konzulensemmel történő egyeztetés alapján vettem fel. Ennek során a szemcsés talaj nyírószilárdságát legjobban befolyásoló paramétert, a belső súrlódási szög karakterisztikus értékét 32° -nak vettem fel. A homoknak „ $c=1$ kPa kohéziót a PLAXIS-program kézikönyvének ajánlására vettük fel, mert zérus érték bizonytalanságokat okoz a számításban. Mindamellelt az 1 kPa kohézió a kapilláris hatások miatt mindig megvan.” (Szepesházi, 2003, p65). Mivel számításaim során gyakran használtam a Plaxis végeeselemes programot, és ez a minimális kohézió a talaj minimális nedvességtartalma miatt mindig jelen van, ezért a kohéziót a fentiek szerint vettem figyelembe. Az összenyomódási moduluszt 15MPa-nak vettem fel. Az átmeneti talajt egy iszap, homokos iszapnak feltételezve, nyírószilárdsági paramétereit a homoknál megjelölt források és a konzulensemmel való egyeztetés alapján vettem föl. Eszerint a belső súrlódási szög 24° -ra míg a kohéziója 20 kPa-ra adódott. Az iszap összenyomódási modulusát 8 MPa-os értékkel vette figyelembe. A harmadik talaj egy tipikus sovány agyag, amelynek belső súrlódási szögét 17° -ra kohézióját 40 kPa-ra választottam. Az agyag összenyomódási modulusát 7 MPa-os értékkel vettem figyelembe. A talajok nedves térfogatsúlyát mindhárom talajtípusra egységesen 19 kN/m^3 -ra vettem fel, a talajvíz hiánya miatt nem volt szükség a telített térfogatsúly felvételére.

A számítások során mindig figyelemmel kísértem a talajkörnyezet elmozdulásait. Ezek meghatározására a legkézenfekvőbbnek egy VEM szoftver, név szerint a Plaxis bizonyult. A Plaxis kétségtelen előnye, hogy korszerű anyagmodelleket lehet benne alkalmazni.



7. ábra: A talajok viselkedése deviatorikus feszültség hatására (Duncan és Chang, 1970)

„A földkiemelést, újratelést, komplex építési tevékenységeket (pl. horgonyfeszítést, túltöltést) magukba foglaló folyamatokat általában csak olyan anyagmodellekkel lehet jól követni, melyek figyelembe veszik a talajok terhelés okozta tömörödésének köszönhetően bekövetkező felkeményedést (Verfestigung, hardening), másképpen fogalmazva a merevségi modulusok növekedését” (Szepesházi, 2007, p27). A fenti követelményeknek a Plaxisba épített Hardening Soil modell éppen megfelel, hiszen megadható a tehermentesítés-újrateléshez tartozó rugalmassági modulus. Az újratelésre jellemző E_{ur} értékét szakirodalmi ajánlások szerint az E_{50} háromszorosára vettem fel. A HS modellben a felkeményedést egy referencia feszültség-szinthez mérten egy hatványkitevő segítségével tudjuk megadni, és ez az m kitevő. A kitevő értéke homokok esetében 0,5, agyagok esetében 1,0, míg iszap esetében 0,75 értékre vehető fel (Szepesházi, 2007, p35). A HS modell megértését segíti a 7. ábra. Az alkalmazott talajok talajfizikai paramétereit foglalja össze az 1. táblázat.

1. táblázat: Alkalmazott talajok talajfizikai paramétereit

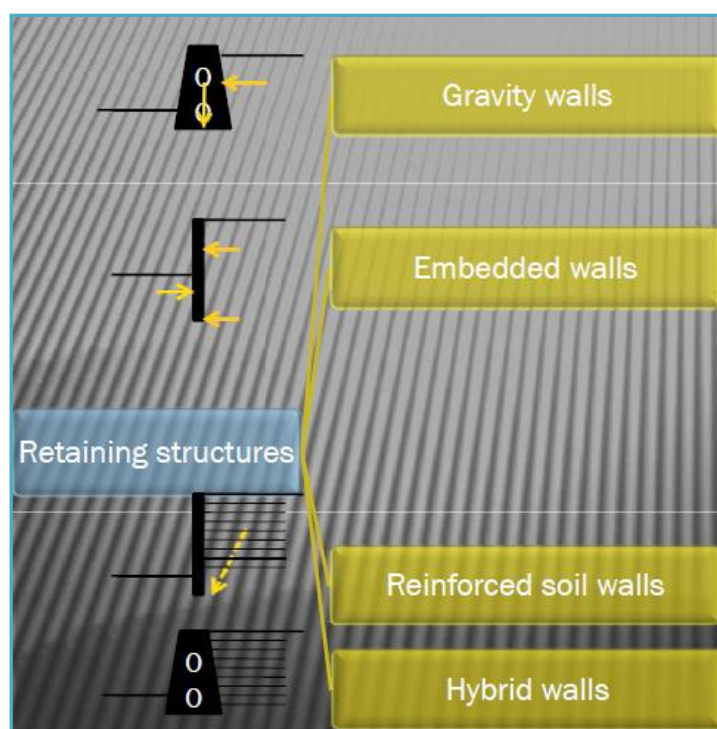
Talaj neve	γ_n [kN/m ³]	Φ_k [°]	c_k [kPa]	E_{50} [MPa]	E_{ur} [MPa]	m [-]
homok	19	32	1	15	45	0,50
iszap	19	24	20	8	24	0,75
agyag	19	17	40	7	21	1,00

A talajon kívül természetesen a későbbiekben részletezett szerkezetek építőanyagait is be kell mutatni. Ebben a fejezetben ismertetem az alkalmazott anyagokat, majd ezeket a továbbiakban ismertnek tekintem. Az első alkalmazott építőanyag a beton. A számítások során teljesen szokványos, C20/25-ös betont használtam. A beton térfogatsúlyát 25 kN/m³-nak vettem fel. A következő alkalmazott

építőanyag a betonacél, melynek minősége B60.50. A horgonyzáshoz használt feszítőpásmákat a Dywidag cég katalógusa alapján, 0,6"-os névleges átmérőjű 140mm² keresztmetszetű, 1570/1770-es szilárdsági osztályúnak vettem fel.

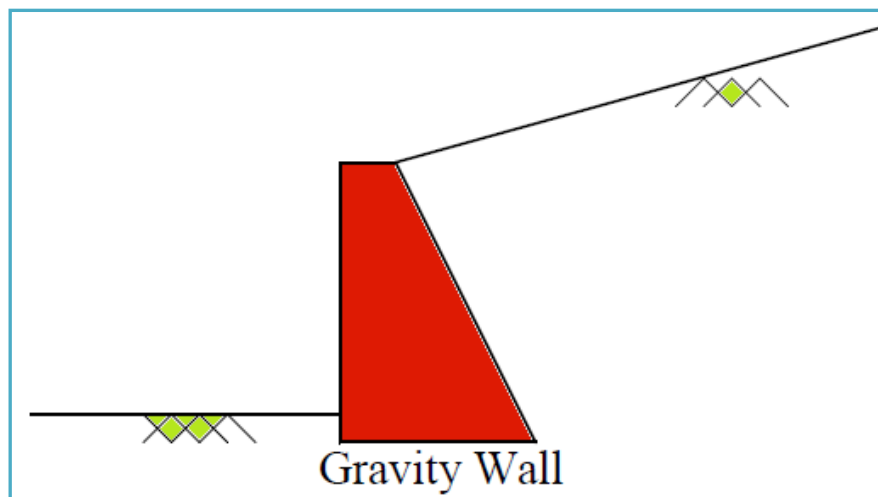
2.4. Vizsgált szerkezet típusok:

A vizsgált szerkezeteket működési elvük alapján négy nagy csoportba osztottam: a támfalak, a befogott falak, a hibrid falak és az erősített talajtámfalak (Szendefy, 2012a).



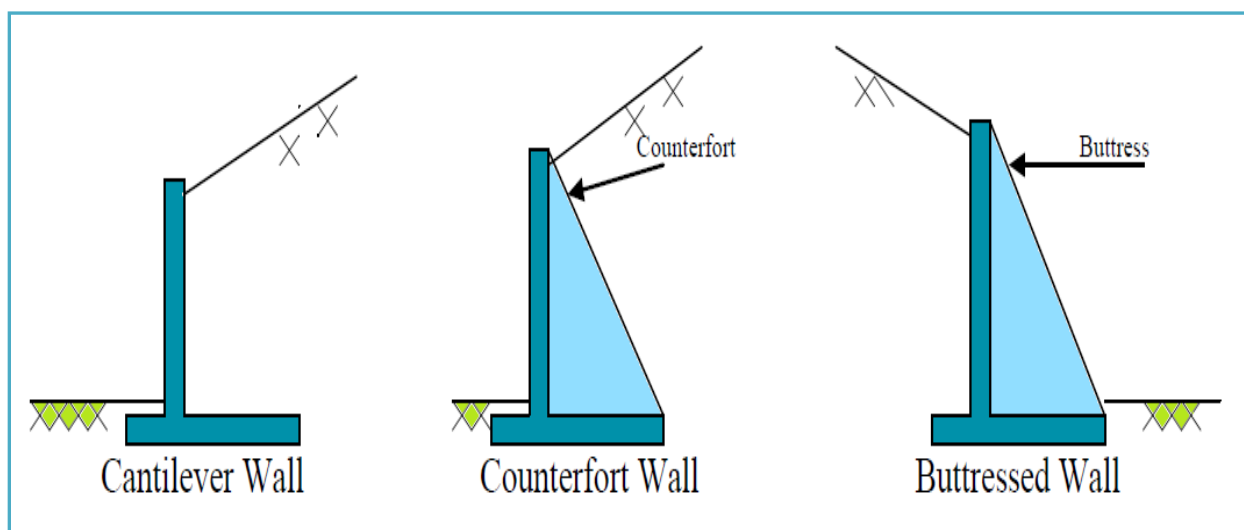
8. ábra: Földmegtámasztó szerkezetek felbontása statikai működésük alapján (Szendefy, 2012a)

A támfalakat tovább bontottam két csoportra a súly- és szögtámfalakra. A súlytámfalak esetében több lehetőséget is lehetett volna vizsgálni, mint pl. a hagyományos falazott vagy beton súlytámfalak, a máglyafalak vagy a gabion falak. Ebből csak a hagyományos beton súlytámfalakat vizsgáltam, mivel szerettem volna egy klasszikus, tradicionális szerkezet versenyképességét megnézni. A súlytámfalak tervezésekor olyan kialakításra törekedtem, hogy ne kelljen a szerkezetet vasalással ellátni. A működési elve a 8. ábrán is látható: a fal a rá ható földnyomást a saját súlyával ellensúlyozza. Az alapsíkon működő erő így kevésbé lesz külpontos és ferde, valamint a fal önsúlyából keletkező súrlódás megakadályozza a szerkezet elcsúszását.



9. ábra: Súlytámfalak jellegzetes kialakítása (Tennessee, 2012)

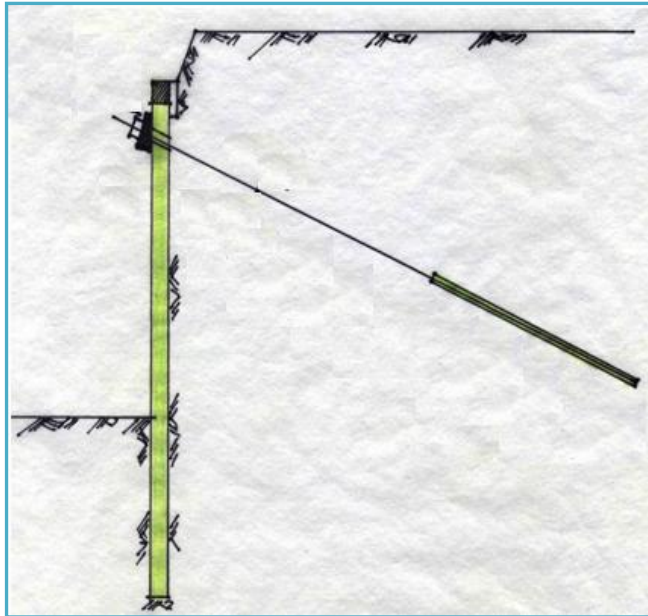
A támfalak másik nagy csoportja a szögtámfalak. A szögtámfalak a saját súlyukon kívül, az alaplemezüik fölött elhelyezkedő föld súlyával ellensúlyozzák a rá ható földnyomásokat. A feladat során egy fordított T keresztmetszetű szögtámfalat feltételeztem, amelynek fala 3 méterenként támpillérrel van gyámolítva. A támpilléres változat előnye, hogy a szerkezetben kisebb nyomatékok és nyíróerők keletkeznek, valamint a pillér nagy merevsége miatt az elmozdulások is kisebbek lesznek. Az egyszerűség kedvéért sarkantyúval nem számoltam.



10. ábra: A szögtámfalak különböző fajtái. A középső változat alkalmazva (Tennessee, 2012)

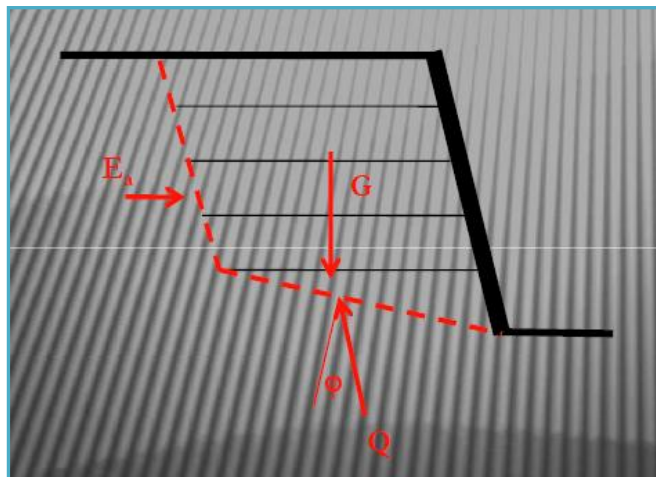
Működési elv szerint a szerkezeteim másik nagy csoportja a befogott falak, amelyeket tovább bontottam a ténylegesen befogott, szabadon támaszkodó falakra és horgonyzott falakra. E típusnál csak a résfalakat vizsgáltam meg. A résfalak lényege, hogy a megtámasztási oldalon a falra nehezedő földet a fal nyomatéki teherbírása révén megtámasztja, és a résfal egyensúlyát pedig horgonyokkal és/vagy a fal előtti föld passzív földellenállásával biztosítjuk. A résfalak nagy előnye, hogy nem foglalnak

sok helyet, mivel függőlegesen is megállnak, ebből következően nincs szükség ideiglenes rézsűre. A résfalakat főleg beépített környezetben használják, mivel csekély felszínmozgással építhetőek. A szabadon támaszkodó falak esetében törekedtem arra, hogy a befogás és a szabad falszakasz hosszaránya közel 1:1 legyen. A horgonyzott szerkezetek esetében a befogás 3-6 méter között változott. A horgonyt 20°-os ferdeséggel vettem fel, hossza a csúszólap függvényében változott.



11. ábra: Horgonyzott résfal (Meszlényi, 2010)

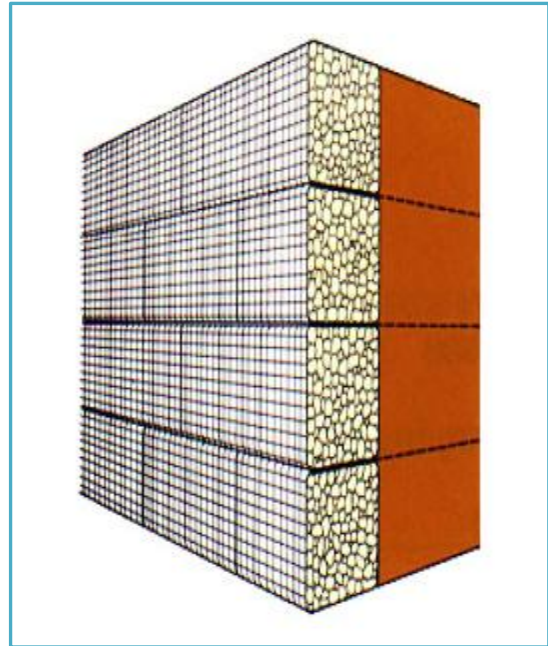
Erősített talajok alatt a talajszegezést, valamint az erősített talajtámfalakat vizsgáltam meg. Az erősített talajtámfalnak számos fajtája van aszerint, hogy milyen anyaggal végzem a megerősítést. Ilyen lehet például rozsdamentes vagy horgonyzott acél, alumínium ötvözet vagy geoműanyag (Szendefy, 2012b). A számítás során azt feltételeztem, hogy a talajszegeket, amelyek közösleges betonacélok, veréssel vagy



12. ábra: Geoműanyaggal erősített talajtámfal működés elve (Szendefy, 2012b)

vibrálással juttatjuk a talajba, ezért hosszuk ~6 méterben korlátozott. A fal 90° és 70° között változik, és egy 8 cm vastag löttbetonos köpenyt kap, $\Phi 8/150/150$ -es hálós vasalással. A georáccsal erősített talajtámfalak lényege, hogy a megtámasztott földbe hátranyúló georács együttműködik a megtámasztott talajjal, és mintegy földből készült súlytámfal viselkedik. A georácsok azért ideálisak, mert húzószilárdságot kölcsönöznek a talajnak amellet, hogy kedvező az áruk. A homlokfelület vagy szabadon hagyva, vagy valamilyen előregyártott betonelemmel ellátva készülhet.

Az összetett szerkezetek között vizsgáltam még a hibrid falakat. Ezek lényege, hogy a súlytámfalak működési elvét egyesíti az erősített talajtámfalak működési elvével. Ennek során a homlokfelületet valamilyen súlytámfallal alakítom ki, pl.: gabion kosarakból, és az egyes elemeket az erősített talajtámfalakhoz hasonlóan hátrahorgonyzom. Ennek előnye, hogy a súlytámfal teherbírása kiegészül az erősítő anyag húzószilárdságával. Számításaim során a homlokfelület gabion elemekből készült, az erősítés pedig a kosarakhoz erősített georácsokkal.



13. ábra: Hibrid gabion fal (Szendefy, 2012b)

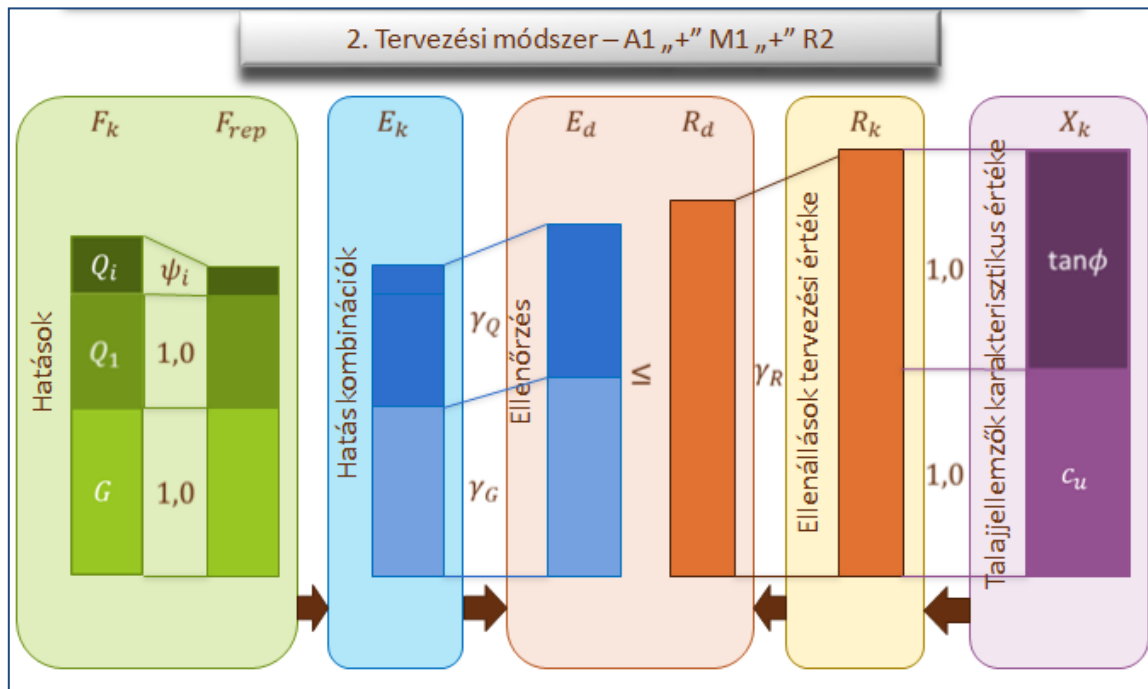
2.5. Számítási módszerek:

Ebben a fejezetben az előbb bemutatott szerkezetek méretezéséről írnék pár szót. A célom az volt, hogy megtaláljam azokat a minimális keresztmetszeti méreteket, amelyek kielégítik az Eurocode 7 támasztotta követelményeket. A határállapotok vizsgálatát a számításra alapuló tervezési eljárással hajtottam végre. Jelen dolgozatban nem fogom részletesen leírni a számítás menetét, csak annak elvi összefoglalását, valamint a dolgozat későbbi részében a számítási eredményeket rövid táblázatos formában közlöm.

Az EN 1990 szerint a szerkezetet meg kell vizsgálni tartós, ideiglenes és rendkívüli állapotban is. Én a számítás során csak a tartós állapotot vizsgáltam meg. Ez első ránézésre komoly hibának tűnhet, hiszen a mértékadó terhek gyakran ideiglenes építési állapotban jelentkeznek. Azonban azt is figyelembe kellett venni, hogy 3 féle talajon, 4 különböző magasságban 8 különböző szerkezet méretezését kellett elvégezni, amely összesen 96 modell felépítését jelenti, és ezt így is igen nehéz kezelni. Természetesen meg lehetett volna vizsgálni az ideiglenes állapotokat is, de ezek eredménye a szerkezet méreteit jelentősen nem változtatta volna. A rendkívüli hatásokat, mint pl.: földrengést, támszerkezetnek ütközést szintén nem vizsgáltam.

Az egyes határállapotokban ki kellett mutatnom, hogy a hatások tervezési értéke kisebb, mint az ellenállások tervezési értéke. A síkalapok, cölöpök, támszerkezetek és horgonyok vizsgálatánál a DA2* tervezési módszer szerint kell eljárni (Szepesházi, 2008). A módszer esetében a parciális tényezőket

nem a hatásokon, hanem a belőlük számított igénybevételeken értelmezzük. Mivel hasznos terhet nem vettem figyelembe, ezért csak az állandó hatások parciális tényezőjével kellett beszorozni az igénybevételeket. A geotechnikai szerkezetek állékonysági vizsgálatát a szabvány szerint a DA3-as tervezési módszerrel kell elvégezni. (Szepesházi, 2008) megjegyzi, hogy a számítás során úgy is eljárhatunk, hogy a számításban a nyírószilárdsági paraméterek karakterisztikus értékével számolunk, és az ezekből nyert biztonságnak kell nagyobbnak lennie, mint az adott talajparaméter parciális tényezője (M_2), jelen esetben 1,35.



14. ábra: A DA2* tervezési módszer lényege az EC7 szerint (Móczár, 2010)

A rézsűket tehát a DA3 módszer vizsgáltam meg, és 5°-os lépcsőben mutattam ki a megengedhető legnagyobb meredekséget. A szerkezetek megépítéséhez szükséges ideiglenes rézsűk esetében a parciális tényezőt csökkentett értékkel ($\gamma = 1,25$) vettem figyelembe. Erre a szabvány nem nyújt lehetőséget, azonban a régi magyar szabvány évtizedekig megengedte azt, hogy ideiglenes állapotban egy csökkentett, 1,25-ös parciális tényezőt lehessen használni rövid idejű építési állapotban. Ezen kívül visszautalnék a már említett ÚT 2-1.222 előírásra, amely megengedi, hogy ha jelentős költségmegtakarítás érhető el, akkor nagyobb kockázatvállalás is megengedhető.

A szerkezetek következő nagy csoportja a támfalak és összetett szerkezetek vizsgálata. Ebbe beletartozik a súlytámfal, a szögtámfal, a geoműanyaggal erősített talajtámfal, a talajszegezés és a hibrid fal is. Az ilyen típusú szerkezeteknél GEO határállapotban vizsgálni kell az alap alatti talajtörés veszélyét, valamint az alapsíkon való elcsúszást. „Hagyományosan e szerkezetek esetében a kiborulást is vizsgáljuk, ami közelít az EQU határállapothoz” (Szepesházi, 2008, p97). Továbbá megjegyzi, hogy a

szabvány csak szilárd közeten álló szerkezet esetében teszi kötelezővé a kiberulás vizsgálatot. Ezt az indokolja, hogy ha betartjuk a síkalapokra vonatkozó külpontossági követelményt, akkor bizonyára nem lesz probléma a szerkezetünk kiberulásával. Ennek vizsgálata azért is igen lényeges e szerkezetek esetében, mivel az aktív földnyomás eredője viszonylag „magasan hat”, amely jelentős külpontosságot okoz az alapsíkon. Az EC7 ide vonatkozó része a külpontosságot (külön óvintézkedés nélkül) az alaptest szélességének harmadában korlátozza. Ez a korábbi szabványhoz képest nagyon laza. A korábbi magyar előírások az erő külpontosságára a B/6-ot írt elő, vagyis, hogy a teljes keresztmetszett nyomva maradjon. A tervezés során én ezt a régebbi, de szigorúbb elvet követtem. Az alaptest szélességét tehát úgy választottam meg, hogy az eredő a belső magon belül maradjon (Szepesházi, 2008).

A támfalak és összetett szerkezetek esetében a másik kritikus tényező az STR teherbírási határállapot vizsgálata. Az STR vizsgálata is nagymértékben függ attól, hogy melyik szerkezetet vizsgáljuk, ezért itt szerkezet típusokra szétbontva mutatom be, hogy milyen állapotot vizsgáltam.

A súlytámfal esetében azt kell bizonyítani, hogy a beton föld felőli szélső szálában nem keletkezik húzófeszültség. A szögtámfal esetében a fal-alaplemez csatlakozási pontjában kell megállapítani a tervezési nyomatékokat, majd ebből leellenőrizni, hogy az adott keresztmetszet egy feltételezett vasalással megfelel-e. A többi szerkezet esetében a helyzet nem ilyen tiszta. A szabvány nem ad világos utasítást, módszert az erősített talajtámfalak illetve a szegezett talajok méretezéséhez. (Szepesházi, 2008) tanácsait megfogadva, az ÚT 2-1.222 által megfogalmazott tervezési elveket betartva végeztem el a szerkezetek méretezését.

A befogott falak alatt egyrészt a felső megtámasztás nélküli befogott falakat, valamint a kihorgonyozott falakat értem. A falakat GEO és STR határállapotban kell vizsgálni. Mivel a falakban jelentős hajlítónyomaték keletkezik, ezért gazdaságossági okból az STR vizsgálata különösen fontos. A GEO állapot elkerülését a fal talpának lejjebb vitélével lehet elérni, amely a horgonyozott falak esetében kiegészül a horgonyok kihúzódnak vizsgálatával. Az STR állapot vizsgálatánál azt kell igazolni, hogy a falban keletkező nyomatékok és nyíróerők felvehetők az adott vasalással. A horgonyozott fal esetében ez még kiegészül a horgonyok elszakadásának ellenőrzésével.

A számításokat két féle programmal végeztem el. Az egyik alkalmazott szoftver a Geo5 programcsoport volt. Számos előnye közül kiemelném, hogy beépített EC7 szabványokkal rendelkezik, így a tervezést lényegesen meggyorsítja, a határállapotok ellenőrzését megkönnyíti. A program főleg analitikus módon oldja meg a feladatokat. Ez azért nagy előny, mert a másik alkalmazott szoftver, a Plaxis, végeselem módszert használt, így a két programmal két független módszerrel vizsgálhatjuk meg

a feladatot. A Plaxis előnye, hogy az elmozdulásokat a környezetben is vizsgálja, valamit az, hogy a lehetséges törési mechanizmusokat nem elkülönítve, hanem globálisan kezeli. Hátránya viszont, hogy a fal előtti földellenállás nem, vagy csak nagyon nehezen vehető figyelembe szabványosan. Az eredményeket szűrőpróba szerűen kézi módszerekkel is leellenőriztem.

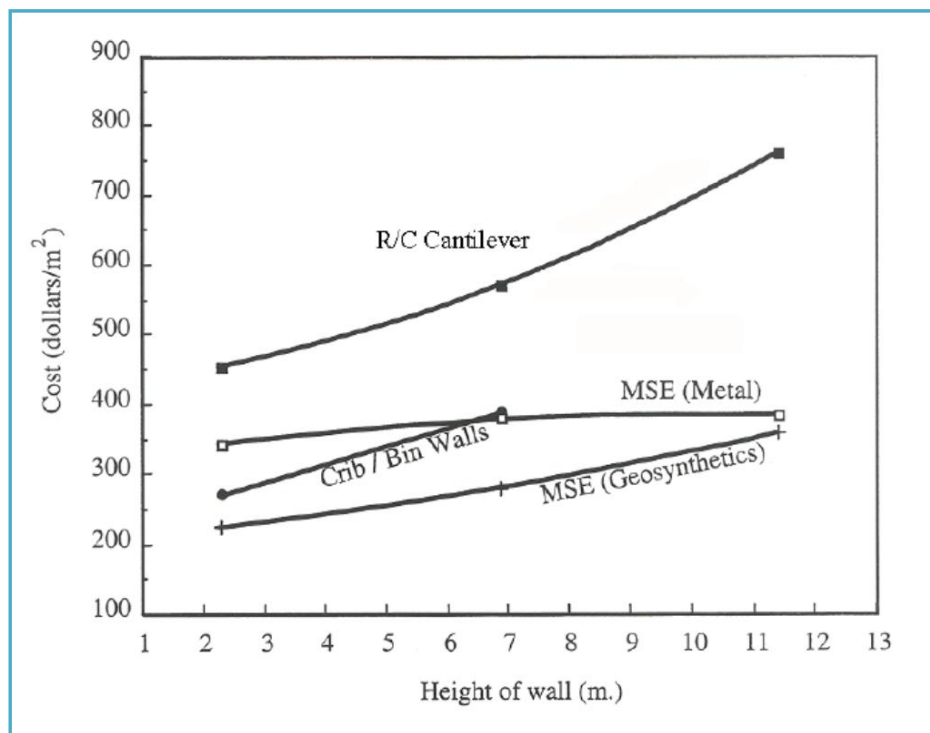
2.6. A modell hiányosságai:

Az általam használt modell hátránya, hogy nem vizsgálja meg a környezet süllyedéstűrését. Ez azért gond, mert a geotechnikában a támszerkezeteket a kialakítandó tereplépcső és a környező építmények biztosítása érdekében építjük (Szepesházi, 2008). A szerkezetek méretei sokszor ez, a környezet süllyedéstűrése, és nem a teherbírási határállapotok határozzák meg. Általában a szerkezeteket próbáljuk úgy méretezni, hogy azon a megengedhető legnagyobb elmozdulások alakuljanak ki, hiszen így gazdaságosabb szerkezetek készíthetők. A következő nagy hátrány, hogy nem számolok talajvíz és rétegvízzel. Ez szintén kritikusan tudja befolyásolni a szerkezet viselkedését. Ezek elhanyagolását azért tartom elfogadhatónak, mert az ilyen hatások mindig egyéniek, és esetenként változnak. A hiányosságok ellenére úgy vélem a modell alkalmas arra, hogy az egyes szerkezetek közelítő méreteit meghatározhassam rajta, és ebből a költségek trendjét le lehessen olvasni.

3. A téma irodalmának feldolgozása

A dolgozat készítése során fontosnak tartottam, hogy a vonatkozó szakirodalmat áttanulmányozzam. Erre egyrészt azért volt szükség, hogy megnézzem, hogy mások milyen módszerekkel állapították meg a költségeket, másrészt pedig a számítás során esetlegesen elkövetett hibákat könnyebben észre lehet venni, ha az nem illeszkedik a trendekbe.

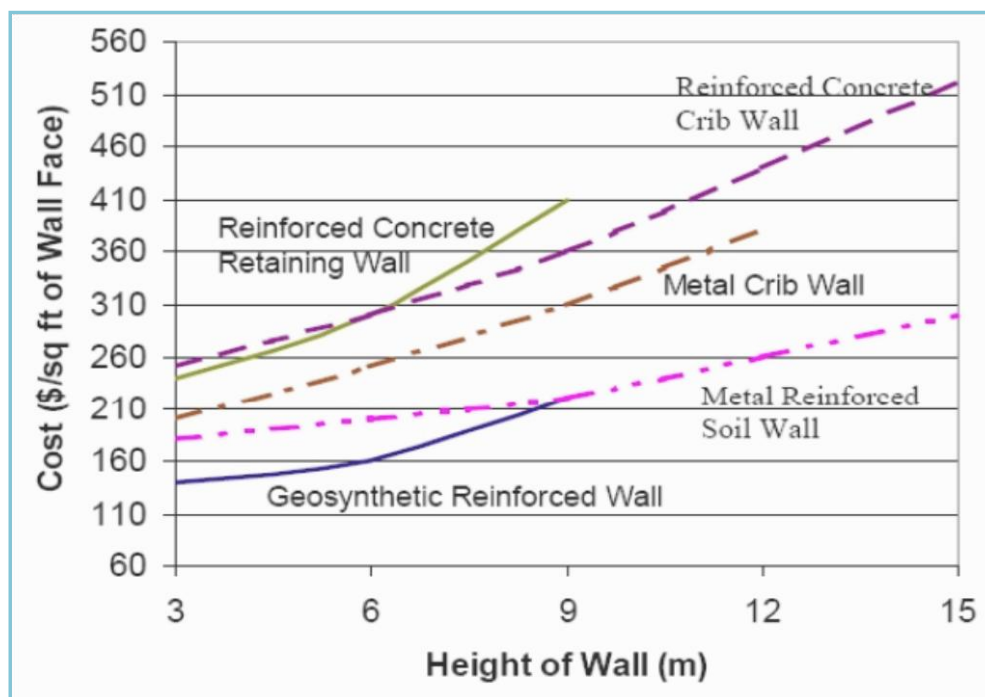
A téma egyik alapműve Koerner és társai által 1998-ban készített gazdasági elemzés. A kutatás az USA állami és szövetségi közlekedési ügynökségeinek közvélemény kutatásán alapszik. Ebből következik, hogy nem számításra alapszik, hanem a ténylegesen megépült szerkezetek tényleges költségeit vizsgálta meg. A kutatás első sorban az erősített talajtámfalakra koncentrált, és ezeket hasonlítja össze a hagyományos vasbeton szögtámfalakkal, a 2 és 11 méter közötti tartományban. A vizsgálat eredménye szerint az erősített talajtámfalakkal 20-50% költségmegtakarítás érhető el. A vizsgálat eredménye látható a következő ábrán:



15. ábra: A földmegtámasztó szerkezetek költségei a magasság függvényében (Koerner et al, 1998)

A szerzők velem ellentétben vizsgálták fém szalaggal (acél) erősített talajtámfalat, valamint a máglyafalakat. Az ábrán jól látszik, hogy az erősített támfalak minden esetben olcsóbbak a hagyományos szerkezeteknél. Ezt az ábrát pontosítja a vizsgált szerkezetek tekintetében a következő ábra. Ezt azért is tartom fontosnak, mert ez a diagram keltette fel érdeklődésemet a téma iránt, és vett rá, hogy tovább kutassak az egyes szerkezetek között. Ez a kutatás is hasonló eredményre jutott, mint az előző, miszerint a MSE (mechanically stabilized earth) falak jóval költséghatékonyabbak, mint a

hagyományos szerkezetek, bár némi eltérés is mutatkozik a máglyafalakat illetően. A másik észrevételem, hogy az alábbi diagram négyzetlábba vonatkoztatva adja meg az adatokat. Ezt átváltva négyzetméterre, látható, hogy nincs azonos nagyságrendben a többi irodalmi értékkel. Ennek oka valószínűleg tárgyi tévedés, és az alábbi ábrán \$/m²-ben kellett volna ábrázolni a költségeket.



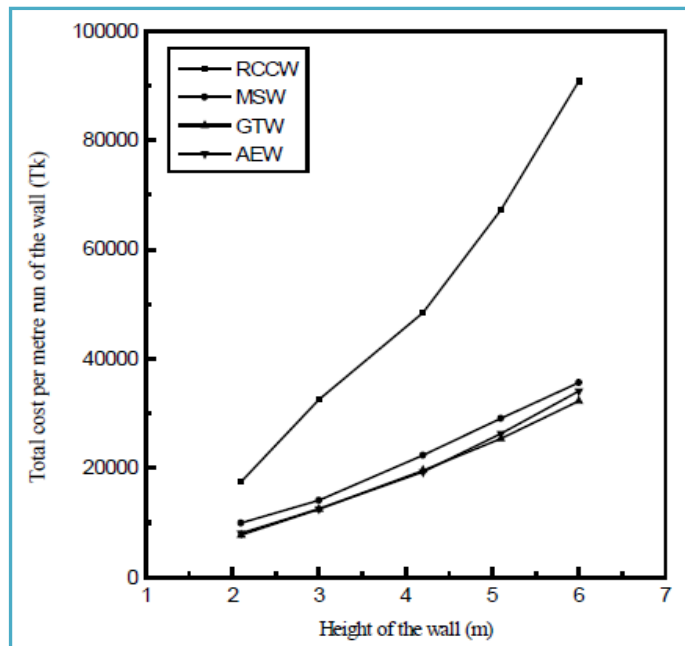
16. ábra: A földmegtámasztó szerkezetek további vizsgálata (Szendefy, 2012b)

Számos amerikai egyetem közlekedéstudományi kara foglalkozott a földmegtámasztó szerkezetek költséghatékonysági vizsgálatával. Egy ilyen kutatási eredményt közölt a Tennessee-i Egyetem is. Ők a többiekkel ellentétben táblázatos formában adták meg az általuk vizsgált szerkezetek várható építési költségeit, valamint a költséghatékony, versenyképes magassági tartományokat. A kutatásból kiválasztottam az általam vizsgált szerkezeteket és táblázatosan foglaltam össze. Fontosnak tartottam ezt a vizsgálati eredményt is közölni, mivel ez független az 1998-as Koerner kutatástól, és olyan szerkezeteket is vizsgáltak amelyeket én is.

2. táblázat: Földmegtámasztó szerkezetek hatékony magassága és költségei (Tennessee, 2012)

Fal típus	Költséghatékony magasság [m]	Költség [\$ /m ²]
Beton súlytámfal	1-3	270-375
Szögtámfal	2-9	270-650
Szögtámfal, gyámpillérrel	9-18	270-650
MSE, előregyártott homlokzattal	3-20	235-375
MSE, georácsos megerősítés	2-15	160-375
Erősített rézsűk	3-30	75-260
Szádfal	0-5	160-430
Horgonyzott résfal	6-24	645-925
Horgonyzott cölöpfal	6-24	430-805
Talajszegezés	3-20	161-600

Utolsóként emelném ki a Bangladesi Egyetem kutatását. A kutatást hozzám hasonlóan végezték, vagyis a szabványok szerinti meghatározták a megengedhető keresztmetszeti méreteket, majd ezek alapján számítással határozták meg a költségeket. A szerkezeteket elsősorban az alsó-közép tartományban, 2,1-6 méterig vizsgálták. Koernerék vizsgálatához hasonlóan az MSE falakat hasonlították össze a szögtámfalakkal, és megállapításaik is hasonlóak voltak. A számítás érdekessége, hogy a költség összetevők (anyag, földmunka, háttöltés) alakulását részletesen dokumentálták, ezáltal könnyen követhetővé vált a számításuk.



17. ábra: Földmegtámasztó szerkezetek költségei folyóméterre vonatkoztatva (A. J. Kahn, M. Sikder, 2004)

RCCW=vasbeton szögtámfal, MSW,GTW=acél és georács erősítéses talajtámfal, AEW=talajtámfal lehorgonyozó elemmel

A témában főként amerikai szakirodalom lelhető fel, és a szerzők általában közlekedési létesítmények tervezésével foglalkoznak, olyan környezetben, ahol a süllyedések korlátozása nem elsődleges szempont. Ennek megfelel az előző fejezetben ismertetett modellem helyes. Mindegyik szerző azonos eredményre jutott, annak ellenére, hogy az általuk használt módszer eltért (számításon vagy megkérdezésen alapuló). Megállapítható, hogy a hagyományos támfalak csak 30-50%-os többlet költséggel építhetők meg az erősített talajszerkezetekhez képest, és a különbség a magasság növekedésével csak tovább nő.

4. A számítás eredményei

Amint azt korábban említettem, az optimális keresztmetszeti méretek meghatározásához számításokat végeztem az Eurocode 7 előírásai alapján. A vizsgálatokat két egymástól független módszerrel is elvégeztem, ezzel ellenőrizve azok helyességét. A tervezés menete az volt, hogy az irodalomban található ökölszabályok segítségével felvettem egy kiindulási geometriát, majd a Geo5 programmal ellenőriztem azt. Fokozatos közelítéssel igyekeztem az optimális keresztmetszeti méreteket, alakokat megtalálni, és a keresztmetszeti méretek csökkentésével szerkezetet minél jobban kihasználni. Az így kapott szerkezeteket ezután a Plaxis 9 program segítségével ellenőriztem le. A számítási eredmények között 6 méterig nem volt számottevő eltérés, 9 méteres magasságban már eltértek egymástól, 12 méteren pedig akár 15%-os különbségek is voltak a számított biztonságek között. A továbbiakban bemutatom az eredményeket.

4.1. Rézsűk:

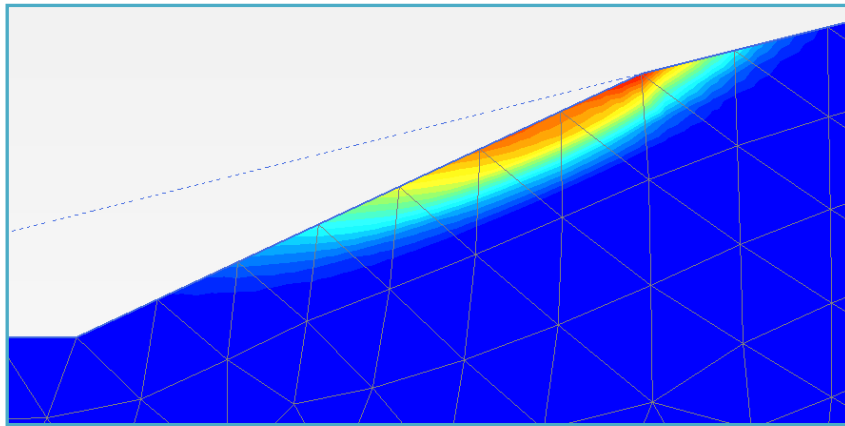
Elsőként a rézsűket mutatom be, mint a földmegtámasztás legegyszerűbb módszerét. A megengedhető legnagyobb meredekségek és a hozzájuk tartozó biztonságek láthatóak a 3. táblázatban.

Az eredményeket megvizsgálva megállapítható, hogy a homok esetében a megengedhető legmeredekebb szög lényegében független a magasságtól. Ez várható is volt, hiszen itt a biztonság lényegében csak a belső súrlódási szögtől függ. A 18. ábrán látható a Plaxis programmal végzett φ -c redukción alapuló biztonsági számítás eredményábrája. Az ábráról világosan látszik, hogy a csúszólap csak a rézsű tetején alakul ki, ezáltal természetes úton egy laposabb, stabil rézsű keletkezik.

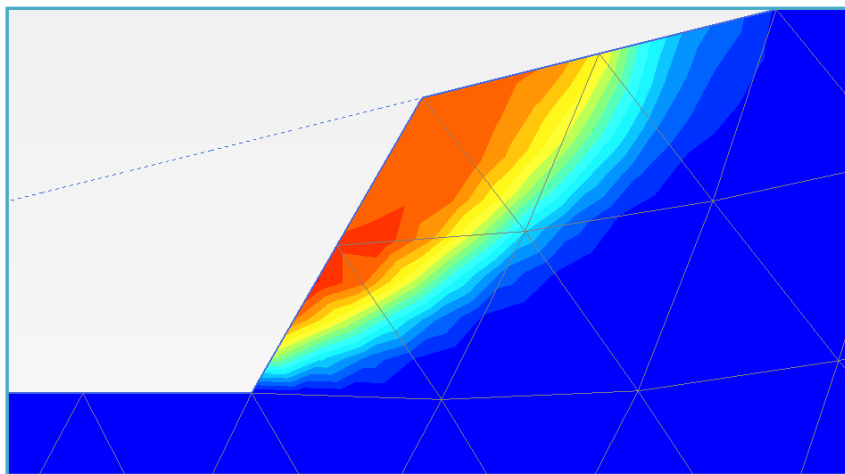
3. táblázat: A megengedhető legnagyobb rézsűhajlások és a hozzájuk tartozó biztonságek

Homok			Iszap			Agyag		
h [m]	$\alpha_{\max}$ [°]	n [-]	h [m]	$\alpha_{\max}$ [°]	n [-]	h [m]	$\alpha_{\max}$ [°]	n [-]
3	30	1,467	3	85	1,646	3	90	2,431
6	25	1,474	6	60	1,375	6	80	1,523
9	25	1,471	9	45	1,37	9	65	1,382
12	25	1,434	12	30	1,395	12	35	1,383

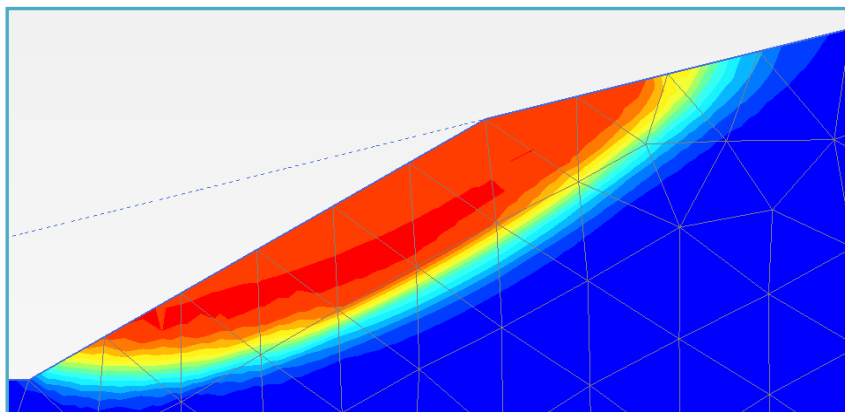
Az iszap a homokkal ellentétben csak egyre laposabb szög mellett vezethető a magasság növekedésével és az eredmények az iszap belső súrlódási szögéhez tartanak. Az iszapnál 6 méterig egy logaritmikus spirál alakú csúszólap alakul ki, lásd 19. ábra. A magasság növekedésével egy egyre laposabb, körre emlékeztető tönkremeneteli felületbe megy át, amint az a 20. ábrán látható.



18. ábra 6 méteres homok rézsűn kialakuló csúszólap



19. ábra: 6 méteres iszap rézsűn kialakuló log-spirál csúszólap



20. ábra: 12 méteres iszap rézsűn kialakult kör alakú csúszólap

Az agyag viselkedése sokban hasonlított az iszapra. 3 méteres magasságban még függőleges falban is megállt, de ez az előny egyre inkább csökkent, majd 12 méteres magasságban már alig volt különbség a megengedhető hajlásszögek között.

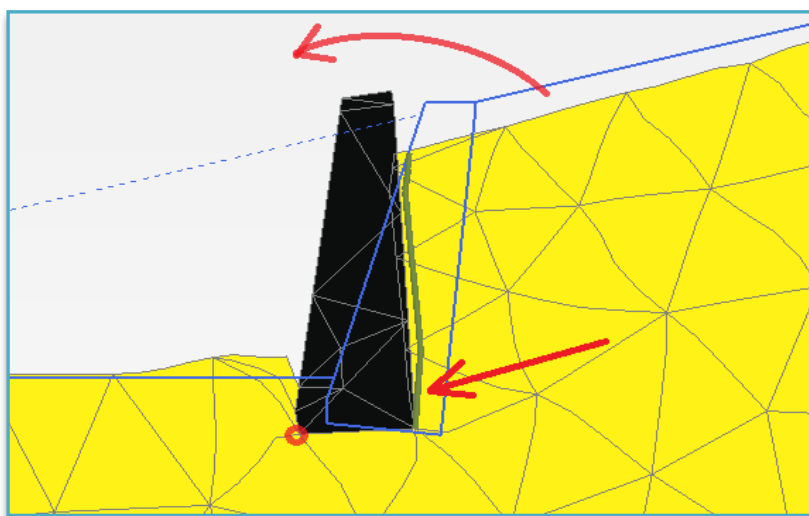
Az ideiglenes rézsűk vizsgálata teljesen hasonlóan történt. Amint azt korábban említettem, itt megengedtem az ideiglenes 1,25-ös globális biztonságot. A vizsgálat során helyenként szükségem volt az 5°-os lépcsőnél nagyobb pontosságra. Az ideiglenes rézsűk megengedhető legnagyobb szögeit mutatom be a 4. táblázatban.

4. táblázat: A megengedhető rézsűhajlások és a hozzájuk tartozó biztonságot ideiglenes rézsűk esetén

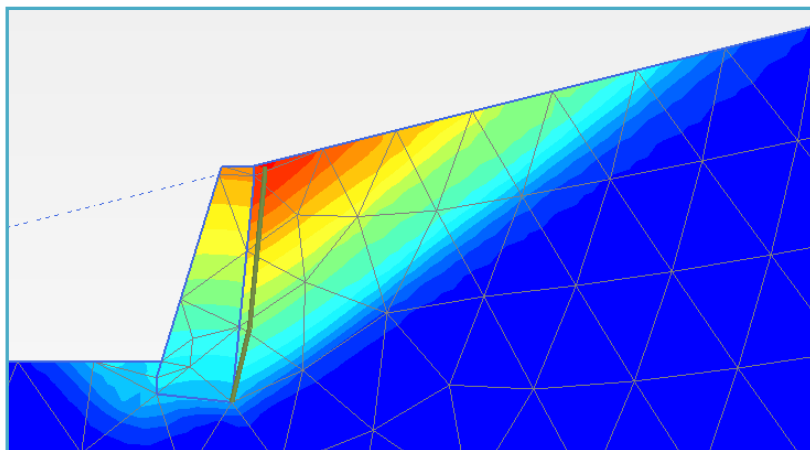
Homok			Iszap			Agyag		
h [m]	$\alpha_{\max}$ [°]	n [-]	h [m]	$\alpha_{\max}$ [°]	n [-]	h [m]	$\alpha_{\max}$ [°]	n [-]
3	35	1,28	3	85	1,646	3	90	2,004
6	30	1,251	6	65	1,305	6	85	1,257
9	27	1,33	9	47	1,288	9	70	1,313
12	27	1,317	12	35	1,296	12	37	1,38

4.2. Súlytámfalak:

Mint azt korábban említettem, a súlytámfalaknál a régi szabvány előírásait vettem figyelembe a kulponosság korlátozására, de minden másban az EC7 előírásai szerint jártam el. Erre azért is volt szükség, mert a Geo5-ből kapott eredmények nem mutattak egyezést a Plaxisal számított biztonsággal. A végelelemes számítás eredményei rendre jóval kisebbek voltak, mint az analitikus úton kapott értékek. Ennek magyarázata az lehet, hogy a törési mechanizmus összetett, tehát a támfal nem csak elcsúszik vagy csak kborul, hanem egy összetett, vegyes csúszási felület alakul ki. A 21. ábrán jól látható a homokhoz tartozó 6 méteres súlytámfal deformálódott végelelemes hálóját, amelyen látszik, hogy a fal egyrészt kborult, másrészt el is csúszott. Mivel a Geo5-ben nem tudjuk figyelembe venni az összetett törési mechanizmust, magyarázható az eltérés a két számítási eljárás között. A 22. ábrán látható, hogy a legnagyobb elmozdulásokat a fal tetején lévő föld szenvedte, és a túlzott mozgás miatt (kiborulás) a fellazulással bekövetkezett a törés.



21. ábra: 6 méteres súlytámfal deformálódott hálóját. Látható az együttes elcsúszás és kborulás



22. ábra: Végesseleemes számítás eredménye. Látható a fal teteje mögötti fellazult föld

A homokra vonatkozó számítás főbb eredményeit tartalmazza az 5. táblázat. A táblázatban B az alaptest szélessége, α az alapsík hajlásszöge, t a takarás, e pedig az erő központossága. Ezek alapján n_{alap} a szerkezet alapozásának globális biztonsága, amelyet kézi számítással határoztam meg. Az n_{EQU} és n_{GEO} a Geo5-ből kinyert kiborulás illetve elcsúszás elleni biztonságok, amelyekben a parciális tényezők már figyelembe vannak véve. Ennek megfelelően az $1/n$ értékek a kihasználtságot adják meg. A táblázatban feltüntettem a Plaxisban számított globális biztonsági értéket, valamint a szerkezet legnagyobb elmozdulását. A 6. és 7. táblázatban az iszap és az agyag összefoglaló eredményei láthatók.

5. táblázat: A homokon készült súlytámfal főbb számítási eredményei

Homok										
h [m]	Alapon működő erők			Alaptest adatai						
	N [kN]	M [kNm]	T [kN]	B [m]	α [°]	t [m]	e [m]	B/6 [m]	megfelel?	n_{alap} [-]
3	73	7	0	1,01	7,13	1	0,10	0,17	Megfelel!	8,64
6	309	92	78	2,28	7,13	1	0,30	0,38	Megfelel!	5,28
9	822	280	95	3,88	11,4	1,5	0,34	0,65	Megfelel!	5,92
12	1282	890	164	4,74	14,03	1,8	0,69	0,79	Megfelel!	6,21
h [m]	Geo5		Plaxis							
	$1/n_{\text{EQU}}$ [-]	$1/n_{\text{GEO}}$ [-]	n [-]	e_{max} [cm]						
3	0,871	0	1,445	1,1						
6	0,829	0,561	1,361	2,7						
9	0,702	0,324	1,374	4,8						
12	0,802	0,347	1,359	6,6						

6. táblázat: Az iszapban készült súlytámfal főbb számítási eredményei

Iszap										
h [m]	Alapon működő erők			Alaptest adatai						
	N [kN]	M [kNm]	T [kN]	B [m]	α [°]	t [m]	e [m]	B/6 [m]	megfelel?	n_{alap} [-]
3	58	0	0	0,80	7,13	1	0	0,13	Megfelel!	7,81
6	179	2	18	1,36	7,13	1	0,01	0,22	Megfelel!	5,29
9	520	51	38	2,57	11,4	1,5	0,09	0,42	Megfelel!	6,75
12	1089	449	101	3,78	14,03	1,5	0,41	0,62	Megfelel!	5,41
h [m]	Geo5		Plaxis							
	$1/n_{EQU}$ [-]	$1/n_{GEO}$ [-]	n [-]	e_{max} [cm]						
3	0	0	2,42	2,4						
6	0,727	0,395	1,58	8,4						
9	0,739	0,249	1,397	13						
12	0,803	0,538	1,356	18						

7. táblázat: Az iszapban készült súlytámfal főbb számítási eredményei

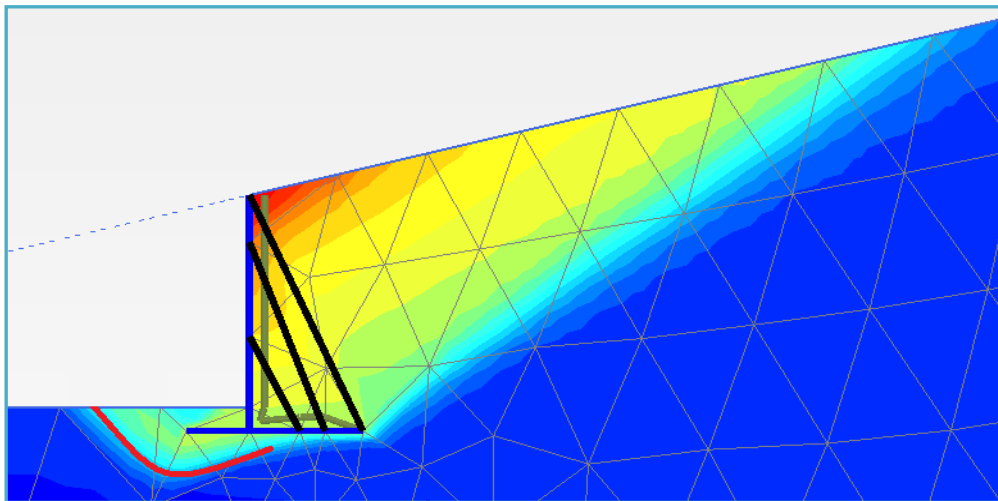
Agyag										
h [m]	Alapon működő erők			Alaptest adatai						
	N [kN]	M [kNm]	T [kN]	B [m]	α [°]	t [m]	e [m]	B/6 [m]	megfelel?	n_{alap} [-]
3	58	0	0	0,80	7,13	1	0	0,13	Megfelel!	5,47
6	174	-73	-39	1,36	7,13	1	0	0,22	Megfelel!	5,39
9	323	-80	-71	2,04	11,4	1,5	0	0,34	Megfelel!	6,69
12	1007	208	91	3,78	14,03	1,5	0,21	0,63	Megfelel!	5,91
h [m]	Geo5		Plaxis							
	$1/n_{EQU}$ [-]	$1/n_{GEO}$ [-]	n [-]	e_{max} [cm]						
3	0	0	2,519	8						
6	0,01	0	2,041	13						
9	0,702	0,080	1,634	22						
12	0,716	0,706	1,421	29						

4.3. Szögtámfalak:

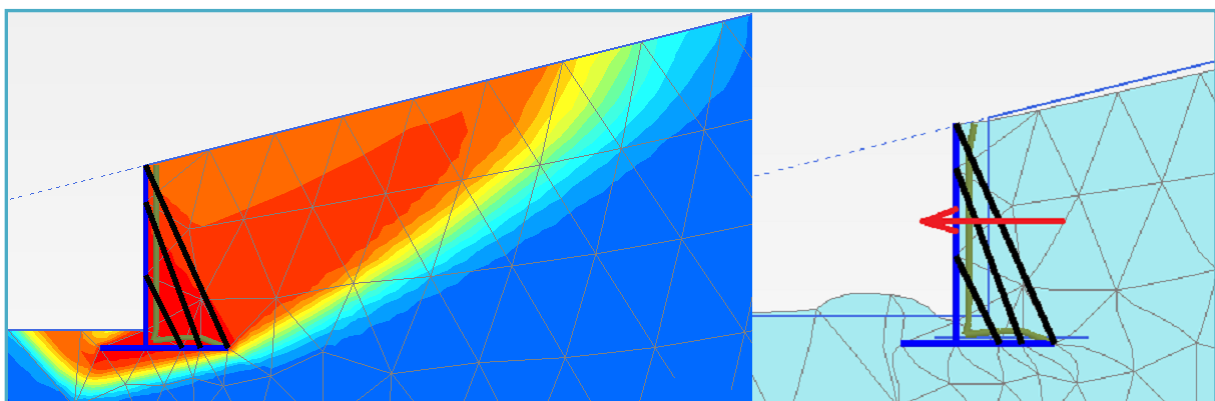
Amint azt a 2.5 fejezetben leírtam, a szögtámfalak erőteni számítása közel megegyezik a súlytámfalak vizsgálatával, azonban az STR határállapotnál jelentős az eltérés. Ahhoz, hogy a támfal bevasalható és gazdaságos legyen (főleg nagyobb magasságokban), szükség van az 10. ábrán látható gyámpillér alkalmazására. A fő problémát az okozta, hogy a Geo5-ben ennek figyelembe vételére nincs lehetőség. A másik probléma ugyan az volt, mint a súlytámfal esetében, vagyis a Geo5-tel jóval nagyobb biztonságokat számítottam, mint a Plaxisal. A biztonság javára úgy változtattam meg a geometriát, hogy a Plaxisban is meglegyen a minimális biztonság, ez azonban a Geo5 szerint jelentős túlméretezést eredményezett. A gyámpillért a Plaxisban több egymás melletti pont-pont horgonnyal

modelleztem. Ennek hatására a falban ébredő igénybevételek töredékére estek vissza. Természetesen a horgonyokban keletkező húzóerőt a gyámpillérben elhelyezett vasalással kell felvenni.

Érdekes egy pillantást vetni a 23. ábrára, ahol a homok talajon levő 6 méteres szögtámfal látható. A törésképét megvizsgálva látható, hogy a gyámpillér elhelyezése miatt a fal lényegében nem deformálódik, csak merev test szerűen elfordul. Az ábrán látható a fal felső részén lévő föld törése, amely a fal merev test szerű billenésének, kiborulásának következménye. További érdekesség, hogy az alaplemez bal oldalán már láthatóak a feszültség hagymák jelei. Érdekes megfigyelni, hogy a homok talajhoz képest mennyivel eltérőbb csúszólap alakul ki az agyag esetében. Az agyag talajfizikai tulajdonságai miatt kevésbé terheli a támfalat, viszont kisebb súrlódási szöge következtében a támfal egyszerűen elcsúszik az alapsíkon. Ezt szemlélteti a 24. ábra. Az iszap esetében a töréskép a szemcsés és a kohéziós tönkremenetel közötti képet mutatott.



23. ábra: 6 méteres szögtámfalon kialakuló csúszólapok, homokos talajon. A támfal kiborul, a felső talajréteg törik. Az alap alatti feszültség-hagymát külön jelöli az ábra



24. ábra: A 9 méteres szögtámfal elcsúszása az agyag talajon

A számítási eredményeket foglaltam össze a 8. 9. és 10. táblázatban. A jelölés az előzőekhez hasonló. Az M_{ed} fal, a mértékadó tervezési nyomaték a falban, STR határállapotban. Ehhez hasonlóan az

M_{Ed} lemez és az N_{Ed} pillér az alaplemezben ébredő mértékadó tervezési nyomaték, illetve a gyámpillérben keletkező húzóerő.

8. táblázat: A homokon készült szögtámfal főbb számítási eredményei

Homok										
h [m]	Alapon működő erők			Alaptest adatai						
	N [kN]	M [kNm]	T [kN]	B [m]	α [°]	t [m]	e [m]	B/6 [m]	megfelel!	n_{alap} [-]
3	185	-40	2	3,0	0	1	-0,22	0,50	Megfelel!	18,3
6	491	-7	493	4,5	0	1,33	-0,01	0,75	Megfelel!	9,6
9	1150	-27	272	7,0	0	1,5	-0,02	1,17	Megfelel!	8,8
12	2020	-103	451	9,3	0	2,25	-0,05	1,54	Megfelel!	12,9
h [m]	Geo5		Plaxis		Méretezés					
	$1/n_{EQU}$ [-]	$1/n_{GEO}$ [-]	n [-]	e_{max} [cm]	$M_{Ed\ fal}$ [kNm]	$M_{Ed\ lemez}$ [kNm]	$N_{Ed\ pillér}$ [kN]	v [m]		
3	0,28	0,176	2,17	1,7	88	54	-	0,35		
6	0,45	0,483	1,43	2,6	297	338	572	0,65		
9	0,406	0,54	1,40	4,8	858	891	920	1,00		
12	0,423	0,529	1,35	5,7	2430	1890	1730	1,20		

9. táblázat: Az iszapon készült szögtámfal főbb számítási eredményei

Iszap										
h [m]	Alapon működő erők			Alaptest adatai						
	N [kN]	M [kNm]	T [kN]	B [m]	α [°]	t [m]	e [m]	B/6 [m]	megfelel?	n_{alap} [-]
3	134	-6	26	2,3	0	1	-0,04	0,38	Megfelel!	22,1
6	428	115	90	3,4	0	1,33	0,27	0,57	Megfelel!	12,0
9	952	126	233	6,3	0	1,5	0,13	1,04	Megfelel!	23,8
12	1755	603	502	8,5	0	2,25	0,34	1,42	Megfelel!	20,5
h [m]	Geo5		Plaxis		Méretezés					
	$1/n_{EQU}$ [-]	$1/n_{GEO}$ [-]	n [-]	e_{max} [cm]	$M_{Ed\ fal}$ [kNm]	$M_{Ed\ lemez}$ [kNm]	$N_{Ed\ pillér}$ [kN]	v [m]		
3	0,243	0,347	2,48	2,4	115	65	0	0,35		
6	0,607	0,536	1,62	3,7	270	270	388	0,65		
9	0,487	0,695	1,44	5,6	1016	926	740	1,00		
12	0,548	0,835	1,35	12,3	2839	2416	1515	1,20		

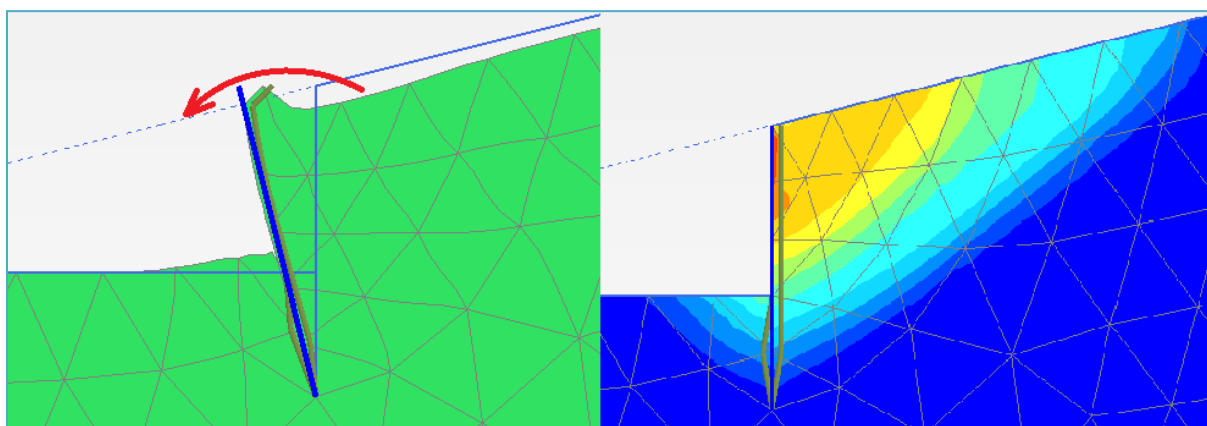
10. táblázat: Az agyagon készült szögtámfal főbb számítási eredményei

Agyag										
h [m]	Alapon működő erők			Alaptest adatai						
	N [kN]	M [kNm]	T [kN]	B [m]	α [°]	t [m]	e [m]	B/6 [m]	megfelel!	n_{alap} [-]
3	123	-15	-2	2,3	0	1	0	0,38	megfelel!	27,1
6	304	0	35	3,4	0	1	0	0,58	megfelel!	22,2
9	790	75	170	6	0	1,5	0,094	1,00	megfelel!	23,3
12	2249	-159	559	10,66	0	2,25	0	1,77	megfelel!	25,3
h [m]	Geo5		Plaxis		Méretezés					
	$1/n_{EQU}$ [-]	$1/n_{GEO}$ [-]	n [-]	e_{max} [cm]	$M_{Ed\ fal}$ [kNm]	$M_{Ed\ lemez}$ [kNm]	$N_{Ed\ pillér}$ [kN]	v [m]		
3	0,009	0,006	2,64	2,9	135	50	-	0,35		
6	0,401	0,558	1,95	4,8	297	297	508	0,65		
9	0,562	0,567	1,59	6,9	1162	1096	1150	1,00		
12	0,433	0,855	1,41	14,1	3350	3350	2250	1,20		

4.4. Befogott résfalak:

A szerkezetek következő nagy csoportja, amelyet bemutatok az a befogott és horgonyozott résfalak. Belső megtámasztás nélkül egy szerkezet csak igen korlátozott magasságig állékony, akkor is csak jelentős felszínmozgások mellett. A számításaimból megállapítható volt, hogy 6 méter fölött a szerkezetek nem álltak meg kellő biztonsággal, de már 6 méteren is jelentős elmozdulásokat szenvedtek.

A szabadon támaszkodó szerkezetek tönkremenetele minden esetben a résfal kifordulása miatt következett be. Ezt szemlélteti a 25. ábra, amelyen látható, hogy megtámasztás hiányában nagyobb magasságokat nem tudunk megtámasztani, mert a megtámasztó szerkezet kifordul.



25. ábra: Befogott résfal tönkremenetele

A befogott falak főbb számítási eredményeit foglalja össze a 11. táblázat.

11. táblázat: A befogott résfalak főbb számítási eredményei

h [m]	t[m]	Σh [m]	n [-]	v [cm]	$e_{\max}$ [mm]	M_{E0} [kNm]
Homok						
3	4	7	1,69	45	15,0	77
6	7	13	1,39	65	56,3	693
Iszap						
3	3	6	2,30	45	11,1	31
6	7	13	1,74	45	65,9	329
Agyag						
3	2	5	2,01	45	25,5	27
6	8	14	1,67	45	32,3	253

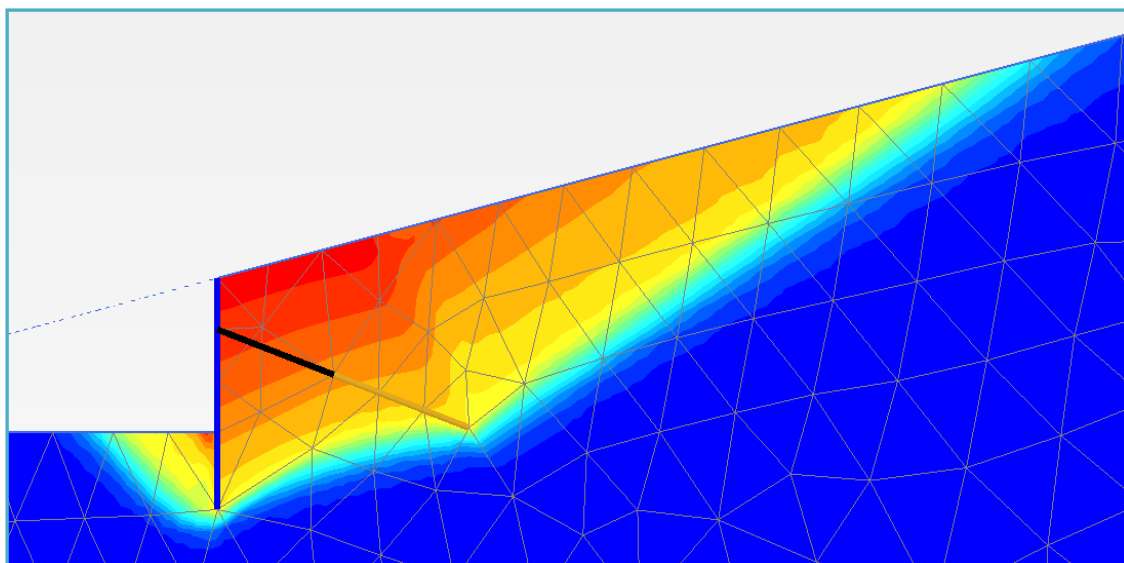
4.5. Horgonyzott résfalak:

Láthattuk tehát, hogy a falnak nagyobb magasságokban szüksége van egy belső megtámasztásra, jelen esetben egy horgonyra. A horgony használata már kisebb magasságokban is gazdaságos lehet, mivel kisebb befogási mélység is elegendő, csökkennek az igénybevételek, emiatt kisebb keresztmetszet is elegendő, amely látható is, ha összehasonlítjuk a 11. táblázatot a 12. táblázattal. A 12 méter magas falnál már nem volt elegendő az egyetlen sor horgony, ugyanis a horgonyban keletkező erőt a befogott szakasz köpenysúrlódása nem tudta volna megbízhatóan felvenni. Ennek megfelelően ezekben az esetekben 2 sor horgonyt alkalmaztam.

12. táblázat: A horgonyzott résfalak főbb számítási eredményei

h [m]	t [m]	Σh [m]	v [cm]	n [-]	$e_{\max}$ [mm]	M_{Ed} [kNm]	N [kN]
Homok							
3	2,5	5,5	45	2,11	6,9	23	40
6	3	9	45	1,67	5,5	144	405
9	4	13	65	1,58	15,0	633	675
12	5	17	65	1,62	24,4	905	742
Iszap							
3	2	5	45	2,31	4	21	40
6	3	9	45	1,74	8,7	104	437
9	4	13	65	1,52	35,7	580	737
12	6	18	65	1,37	40,8	1101	675
Agyag							
3	2	5	45	2,69	6	18	40
6	3	9	45	1,73	19,8	272	378
9	4	14	65	1,37	33,2	513	637
12	5	17	65	1,38	56,3	1209	607

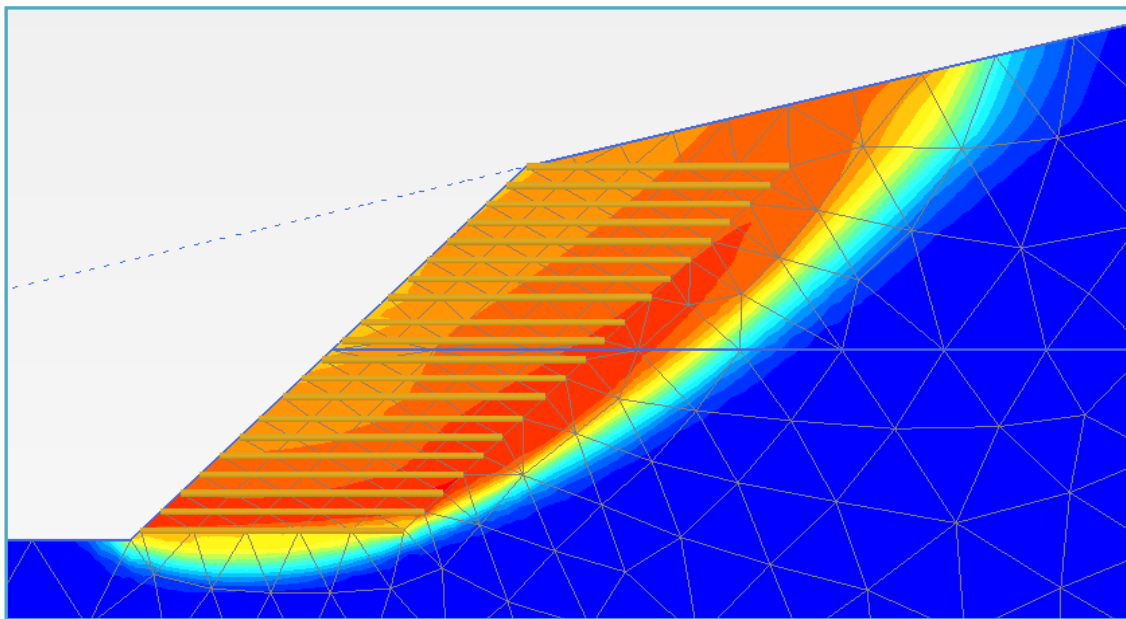
A Plaxisből kinyert kritikus csúszólapot mutatja a 26. ábra, amelyen a homokon álló 9 méteres horgonyzott fal tipikusan horgonyzott szerkezetekre jellemző törésképe látható.



26. ábra: 9 méteres horgonyzott falon kialakuló csúszólap

4.6. Georáccsal erősített talajtámfalak:

A következő részben az erősített szerkezeteket, vagyis talajszegezést és a georáccsal erősített talajtámfalakat bemutatom be. Talajszegezést bevágások készítésére használhatjuk, ezzel szemben a georácsos erősítés mind bevágásban mind töltésben alkalmazható, de gazdasági előnye csak a töltésépítésben jelentkezik. Erőtani viselkedés szempontjából a georácsok kedvezőbben viselkednek, mivel folyamatosan és nem pontszerűen érintkeznek a talajjal. Ebből következően az együttműködés is kedvezőbb lesz talaj és a megerősítés között, amely végső soron azt eredményezi, hogy erősebb, stabilabb szerkezeteket tudunk építeni. A 27. ábrán látható, hogy a georácsoknak ténylegesen sikerült a talajkörnyezettel együttműködni, és ezáltal egy súlytámfal szerűen, merev testként csúszik el a rézsű. Megállapítható továbbá, hogy az erősített támfalak esetében volt tapasztalható a legegységesebb töréskép.



27. ábra: 9 méteres georáccsal erősített homok talajtámfalon kialakuló kritikus csúszólap

A georácsos erősítés összefoglaló számítási eredményeit a 13., míg a talajszegezését a 14. táblázat tartalmazza. A táblázatban látható értékek jelentése a következő: db: hány sor georácsot fektetünk le; hossz: egy georács hossza; Σh : az összes georács hossza; α : a fal függőlegessel bezárt szöge. N_{equ} , n_{geo} , n_{glob} , n_{alap} a korábbiakhoz hasonlóan a kiborulási, elcsúszási, globális és alaptörési biztonság.

13. táblázat: Georácossal erősített talajtámfal összefoglaló számítási eredményei

h [m]	Rácsok					Belső stabilitás		Geo5			
	raszter [m]	db [-]	hossz [m]	Σh [m]	α [°]	kihúzó-dás	tört csúszólap	1/n _{EQU} [-]	1/n _{GEO} [-]	1/n _{glob} [-]	1/n _{alap} [-]
Homok											
3	0,6	5	2	10	5,7	ok	0,98	0,302	0,451	0,993	0,53
6	0,6	10	5	50	33	ok	0,82	0,203	0,394	0,983	0,46
9	0,6	15	7	105	45	ok	0,55	0,019	0,185	0,996	0,41
Iszap											
h [m]	Rácsok					Belső stabilitás		Geo5			
	raszter [m]	db [-]	hossz [m]	Σh [m]	α [°]	kihúzó-dás	tört csúszólap	1/n _{EQU} [-]	1/n _{GEO} [-]	1/n _{glob} [-]	1/n _{alap} [-]
3	0,6	5	2	10	0	ok	0,97	0,299	0,438	0,088	0,46
6	0,6	10	3,6	36	0	ok	0,96	0,226	0,419	0,712	0,62
9	0,6	15	5,4	81	5,7	ok	0,98	0,253	0,540	0,902	0,87
12	0,6	20	8	160	14	ok	0,92	0,184	0,531	0,974	0,96
Agyag											
h [m]	Rácsok					Belső stabilitás		Geo5			
	raszter [m]	db [-]	hossz [m]	Σh [m]	α [°]	kihúzó-dás	tört csúszólap	1/n _{EQU} [-]	1/n _{GEO} [-]	1/n _{glob} [-]	1/n _{alap} [-]
3	0,6	5	2	10	0	ok	0,4	0	0	0,345	0,312
6	0,6	10	3	30	0	ok	0,87	0,106	0,256	0,619	0,530
9	0,6	15	5	75	5,7	ok	0,96	0,222	0,529	0,784	0,954
12	0,6	20	8	160	26,5	ok	0,81	0,050	0,433	0,834	0,955

4.7. Talajszegezés:

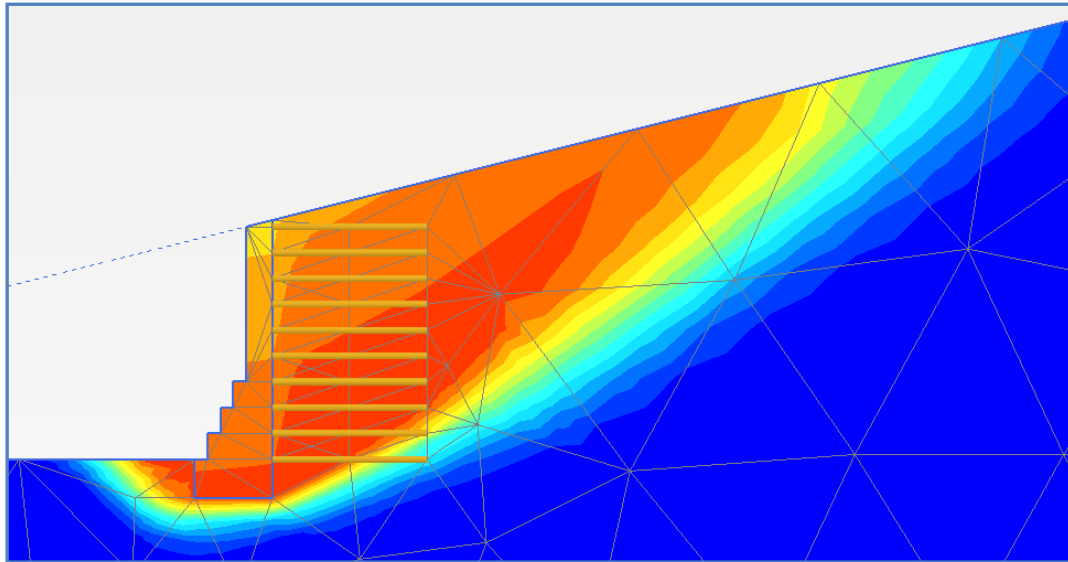
A talajszegeknél nagyon hasonló eredmények születtek, de mivel kikötöttem, hogy csak vert-vibrált talajszegeket használok, ezért kivitelezhetőségi korlátok miatt a szeg hosszát 6 méterben korlátoztam. Ennek következtében a homokot a 12 méteres magasságban már nem lehetett megtámasztani.

14. táblázat: A talajszegezés összefoglaló számítási eredményei

h [m]	Rácsok					Belső stabilitás		Geo5			
	raszter [m]	db [-]	hossz [m]	Σh [m/fm]	α [°]	kihúzó-dás	tört csúszólap	1/n _{EQU} [-]	1/n _{GEO} [-]	1/n _{glob} [-]	1/n _{alap} [-]
Homok											
3	0,8X0,8	4	2	10	11,3	ok	0,71	0,069	0,198	0,91	0,335
6	0,9X0,9	7	4,2	32,7	30	ok	0,98	0,104	0,263	0,93	0,408
9	0,9X0,9	10	6	66,7	42	ok	0,73	0,052	0,193	0,93	0,495
Iszap											
3	1,0X1,0	3	2	6	9,45	ok	0,69	0,020	0,059	0,506	0,234
6	0,9X0,9	7	4	31,1	9,45	ok	0,97	0,074	0,236	0,730	0,511
9	0,8X0,8	11	5,5	76,2	15,5	ok	0,97	0,114	0,373	0,869	0,767
12	0,9X0,9	13	6	86,6	25,6	ok	0,98	0,070	0,347	0,956	0,938
Agyag											
3	1,25X1,25	3	2	4,8	0	ok	0,62	0	0	0,288	0,363
6	1,25X1,25	5	3	12	9,45	ok	0,86	0,012	0,112	0,636	0,583
9	1,0X1,0	9	4,5	40,5	15,5	ok	0,95	0,007	0,368	0,801	0,800
12	1,0X1,0	11	5,5	60,5	25,6	ok	0,97	0,042	0,377	0,856	0,961

4.8. Hibrid falak:

Utoljára hagytam a hibrid fal számítási eredményeinek bemutatását. Amint azt a 2.4-es fejezetben leírtam, magát a falat gabion kosarakból építettem fel és a hátrakötést az ehhez erősített georácsok jelentik. A 28. ábrán látható, amint a hibrid szerkezet elcsúszik az alapsíkon.



28. ábra: Hibrid fal elcsúszási tönkremenetele

A 15. táblázatban foglaltam össze a hibrid falak főbb számítási eredményeit:

15. táblázat: A hibrid falak főbb számítási eredményei

h [m]	B [m]	α [°]	t [m]	$1/n_{\text{EQU}}$ [-]	$1/n_{\text{GEO}}$ [-]	$1/n_{\text{glob}}$	$1/n_{\text{alap}}$	$L_{\text{erősítés}}$ [m]	db
Homok									
3	1,5	5	1	0,788	0,074	0,66	0,259	1,5	4
6	1,5	5	1	0,722	0,385	0,814	0,314	3	7
9	2,5	5	1	0,752	0,555	0,856	0,283	5	10
12	2,5	7	1	0,861	0,614	0,889	0,366	6,7	13
Iszap									
3	1	5	1	0	0	0,422	0,159	1,5	4
6	1	5	1	0,311	0,299	0,651	0,465	3	7
9	1,5	5	1	0,648	0,393	0,785	0,51	4,5	10
12	2	7	1	0,782	0,623	0,87	0,578	6,5	13
Agyag									
6	1	5	1	0,057	0,068	0,518	0,424	3	7
9	1,5	5	1	0,112	0,441	0,336	0,132	4,5	10
12	2	7	1	0,666	0,592	0,796	0,512	6	13

5. Költségfüggvények:

A technológia és az erőtanai számítások eredményeként kapott anyagmennyiségek függvényében számolhatóvá váltak a költségek. Ebben a fejezetben fogom bemutatni, hogy az egyes szerkezetekhez milyen felhasznált anyagokat és költségeket vettem figyelembe. A részköltségek összegeként megkaptam az összes költséget, majd ezt a megtámasztandó magassággal leosztva megkaptam végeredményként a m^2 -re vonatkozó fajlagos költségeket.

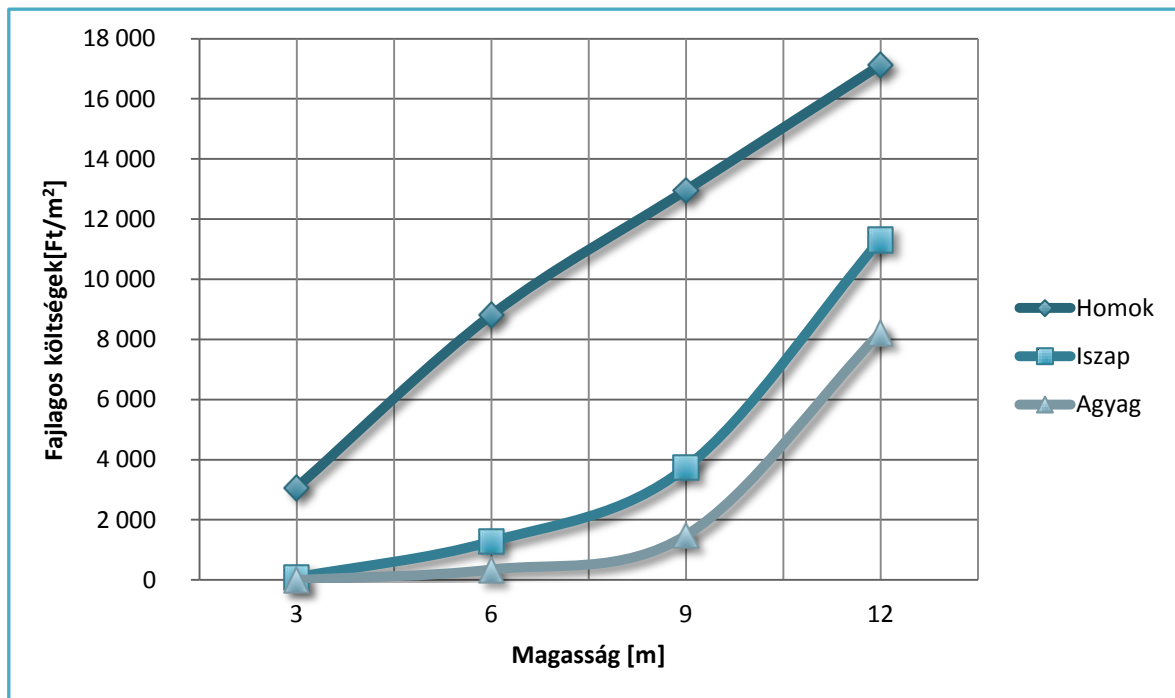
5.1. Rézsűk költségei:

A rézsűk költségösszetevői között szerepel a földmunka nagysága, valamint a rézsű által elfoglalt terület. Mind a földmunka méretét, mint pedig a rézsű által elfoglalt területeket egyszerű számítással meg lehetett határozni a 3. táblázat adatai alapján. A földmunka egységárát $600 Ft/m^3$ értékre vettem fel (Csitos, 2012). Ez az összeg nagytömegű földmunkára, nem átázott, bevágásban lévő talajra vonatkozik azzal a feltétellel, hogy a deponálás 1 km-en belül található. A rézsűk által elfoglalt terület kiszámítását a költségeit az utóbbi évek átlagos termőföld árából számítottam (Tiszacash, 2012), amely $935 000 Ft/ha$ -os árat feltételezve és kerekítve $100 Ft/m^2$ -re adódott. Ez az összeg ebben az esetben akár elhanyagolható is lehetne a többi költség nagyságrendjéhez képest, azonban amint azt korábban említettem, szerettem volna, ha a modellem akár egy „felkapott” környéken is megállná a helyét, és ennek megfelelően táblázatokban változtatható paraméterként bent hagytam az elfoglalt területet is. Ezen kívül a rézsűt még erózióvédelemmel kell ellátni. Ez jelen esetben füvesítést jelent, amelynek összege $300 Ft/m^2$ (Vasics, 2012). A rézsűs megtámasztás munkaigényeit, költségeit és fajlagos költségét mutatja a 16. táblázat.

16. táblázat: A rézsűs megtámasztás munkaigényei, költségei és fajlagos költsége

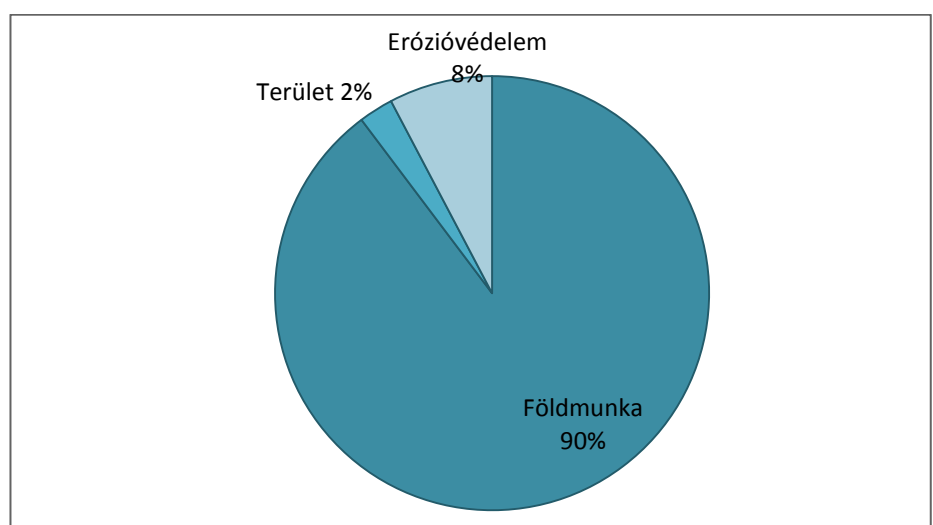
h [m]	Földmunka [m^3/m]	Terület [m^3/m]	Földmunka [Ft]	Terület [Ft]	Erózióvédelem, füvesítés [Ft]	Összes költség [Ft]	Fajl. költség [Ft/ m^2]
Homok							
3	13,8	9,4	8 280	940	2 820	12 040	4 013
6	83,3	28,6	49 980	2 860	8 580	61 420	10 237
9	187,2	42,9	112 320	4 290	12 870	129 480	14 386
12	332,9	57,2	199 740	5 720	17 160	220 620	18 552
Iszap							
3	0,4	0,3	240	30	90	360	120
6	12,1	4,2	7 260	420	1 260	8940	1 490
9	54,0	12,4	32 400	1 240	3 720	37 360	4 151
12	220,0	37,8	132 000	3 780	11 340	147 120	12 260
Agyag							
3	0,0	0,0	0	0	0	0	0
6	3,3	1,1	1 980	110	330	2 420	403
9	21,4	4,9	12 840	490	1 470	14 800	1 644
12	159,9	27,5	95 940	2 750	8 250	106 940	8 912

A fenti táblázatot grafikusán szemlélteti a 29. ábra. Jól látható, hogy a homok fajlagos költségei gyakorlatilag lineárisan növekednek a magasság függvényében. Ezzel szemben az iszap és az agyag 6 méterig olyan meredeken vezethető, hogy gyakorlatilag elhanyagolható költséget jelent a homokhoz képest. A kötött talajok esetében a költségek 6 méter felett fokozódnak, majd 9 méter után erősen nőni kezdenek.



29. ábra: Rézsűk fajlagos költségeinek alakulása a talajtípus függvényében

Az alábbi ábra mutatja a 12 méter magas homokon épült rézsű költségeinek egymás közötti megoszlását. Jól látható, hogy a domináns költség a földmunka, és az elfoglalt terület még a homoknál is minimális.



30. ábra: Rézsű költségeinek megoszlása, 12m homok talaj esetében

5.2. Súlytámfalak költségei:

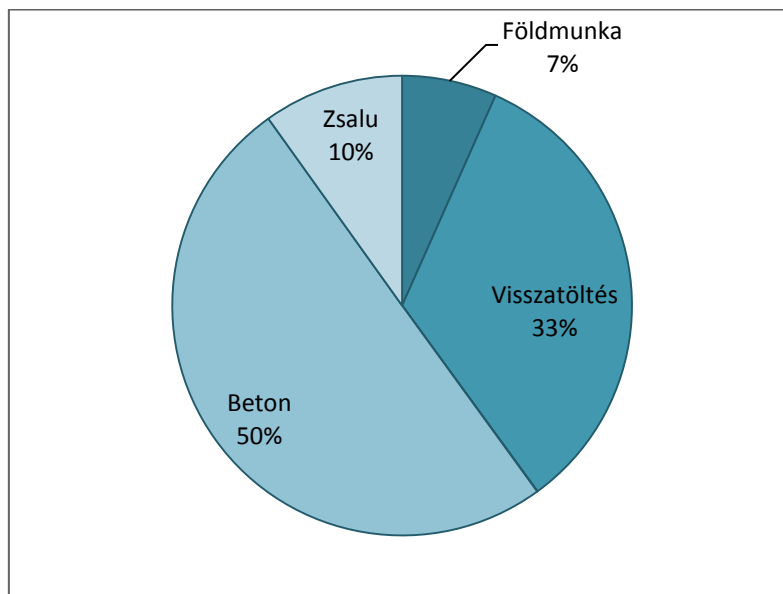
A súlytámfalak munkaigényeit az 5. 6. és 7. táblázatokból, valamint a számítási modellekből számítottam. A súlytámfalak úgy terveztem meg, hogy azok szélsőszálaiban se léphessen fel húzó igénybevétel, ebből következően ne kelljen vasalással ellátni. Az előzőek miatt a súlytámfalak domináns összetevője a beton költsége, amint az a 31. ábrán is látható. A beton egységárát 23 500 Ft/m³-re vettem fel (Vallyon, 2012), amely már tartalmazza a szállítás és a bedolgozás költségeit is. Itt meg kell jegyezni, hogy a jelenlegi építőipari helyzetben a betonnak igen nyomott ára van, amely befolyásolja az eredményeket, de mivel az általam elkészített Excel táblákban ezek az árak paraméteresen szerepelnek, ezért az esetleges árváltozások könnyen korrigálhatóak. További megjegyzés, hogy a fenti összeg csak szokványos méretek esetében érvényes, nagyobb magasságoknál olyan keresztmetszeti méretek adódtak (~4m körüli falvastagság), amelyeknél a betontechnológia költségei (gondosabb utókezelés, kötéslassítás, fagyasztott adalékszer és víz) sokkal jelentősebbek is lehetnek.

Mint monolit beton szerkezet, a költségek között meg kell jelennie a zsaluzás árának is. A zsaluzás során kétoldali zsaluzatot feltételezve, a támfal föld felőli oldalán 1 méteres sávot szabadon hagytam. A zsaluzás egységárát 4500 Ft/m² áron vettem figyelembe a számítás során (Vallyon, 2012). Ez az összeg csak kb. 9 méterig igaz, e fölött már jelentősebb dúcolat kell, ezért a 12 méteres szerkezeteknél 40%-kal nagyobbra választottam a zsaluzás egységárát.

A szerkezetet ideiglenes rézsűs megtámasztás mellett építjük meg, és ennek megfelelően a földmunka munkamennyiségeit a 4. táblázatban szereplő megengedhető rézsűvezetési hajlásszögek segítségével számítottam. A szerkezet építésének költségei közé vettem még az elszállított föld visszatöltésének költségeit. Az agyag és iszap esetében azzal a feltételezéssel éltem, hogy az nem tömöríthető rendesen vissza a támfal mögött, ezért oda az agyagnál és az iszapnál egy külön odaszállított szemcsés anyagból (homokos kavics) kell a háttöltést megépíteni. Ennek alapján a homoknál ugyan azt az árat vettem figyelembe, mint a bevágás készítésénél. Az agyag esetében a háttöltéshez szükséges anyagot 3 000 Ft/m³-es árral számítottam (Vasics, 2012). Ebben az árban benne van a szemcsés talaj anyagára, ennek szállítási költsége (átlagosan 20km-ről), valamint a beépítése a támfal mögé. Az iszap esetén azzal a feltételezéssel éltem, hogy ott a háttöltés felét megjavítom az odaszállított szemcsés anyaggal, ezért ott a visszatöltésre csak fele akkora árat vettem figyelembe, mint az agyagnál.

A 31. ábrán látható a súlytámfalak költségeinek egymás közötti megoszlása egy 12 méter magas agyagon készült súlytámfal esetén. Az ábráról jól látható, hogy a súlytámfal domináns összetevője a

beton ára (50%). Ezen kívül, jelentős (33%-os) részesedése van a háttöltés építésének is. A 17. táblázat tartalmazza a súlytámfalak munkaigényeit és költségeit.

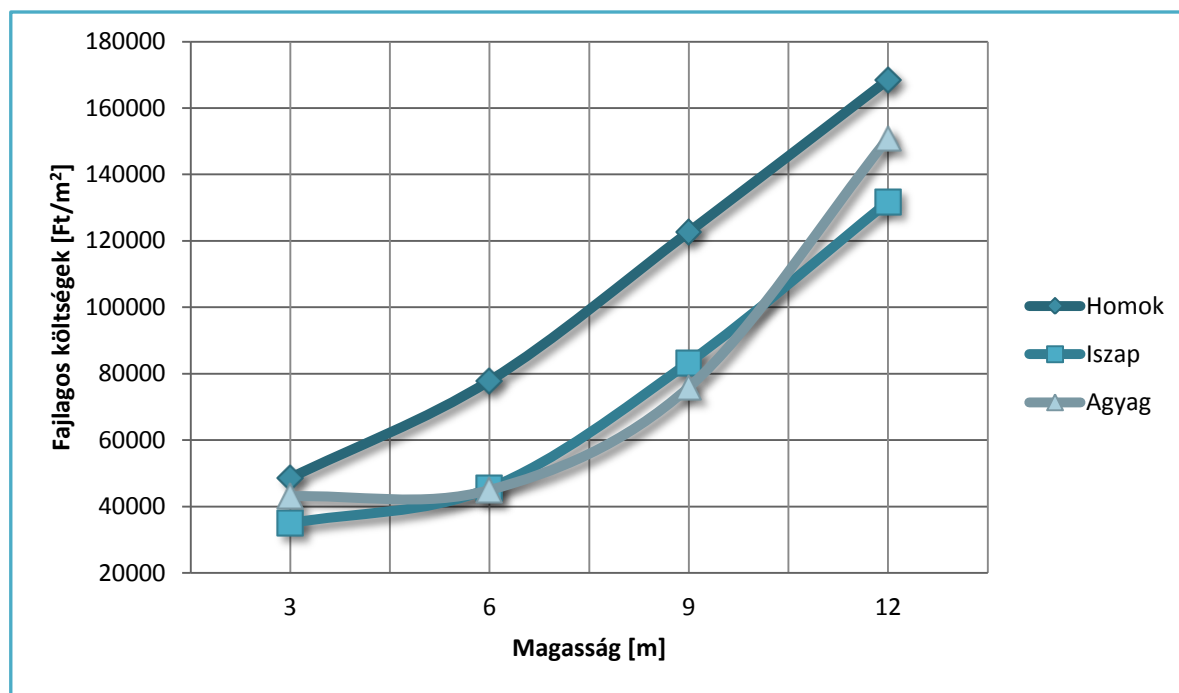


31. ábra: Súlytámfalak költségeinek megoszlása, 12 m magas, agyag talaj esetében

17. táblázat: A súlytámfalak munkaigényei költsége és fajlagos költsége

h [m]	Földmunka [m3/m]	Terület [m2/m]	Beton [m3/m]	Zsalu [m2/m]	Földmunka [Ft]	Visszatöltés [Ft]	Terület [Ft]	Beton [Ft]	Zsalu [Ft]	Összes költség [Ft]	Fajlagos költség [Ft]
Homok											
3	24	1,4	3,4	4,1	14 400	14 400	140	79 900	36 900	145 740	48 580
6	88,2	3	12,6	7,2	52 920	52 920	300	296 100	64 800	467 040	77 840
9	236,3	4,4	30,6	11,2	141 780	141 780	440	719 100	100 800	1 103 900	122 656
12	444,2	6	55,3	15	266 520	266 520	600	1 299 550	189 000	2 022 190	168 516
Iszap											
3	4,12	1,2	2,52	4,1	2 472	6 180	120	59 220	36 900	104 892	34 964
6	19,6	1,8	7,1	7,2	11 760	29 400	180	166 850	64 800	272 990	45 498
9	79,3	3,3	20,7	10,8	47 580	118 950	330	486 450	97 200	750 510	83 390
12	235,3	4,5	38,6	14,2	141 180	352 950	450	907 100	178 920	1 580 600	131 717
Agyag											
3	3,4	1,2	3,4	4,1	2 040	10 200	120	79 900	36 900	129 160	43 053
6	10,5	1,8	7,1	7,2	6 300	31 500	180	166 850	64 800	269 630	44 938
9	30,7	3,3	20,2	10,8	18 420	92 100	330	474 700	97 200	682 750	75 861
12	201	4,5	38,6	14,2	120 600	603 000	450	907 100	178 920	1 810 070	150 839

Ha megnézzük a 32. ábrát, akkor láthatjuk, hogy az egyes talajtípusok esetében hogyan változnak a költségek tendenciái. Jól látható, hogy a homok a drága ideiglenes rézsú miatt jelentős hátrányban van az iszappal és az agyaggal szemben. Az agyag csak közel 10,5 méter fölött lesz drágább az iszapnál, de csak minimális mértékben, amelynek oka a háttöltés építésének költsége.



32. ábra: A súlytámfalak fajlagos költségeinek tendenciái különböző talajtípusok esetén

5.3. Szögtámfalak költségei:

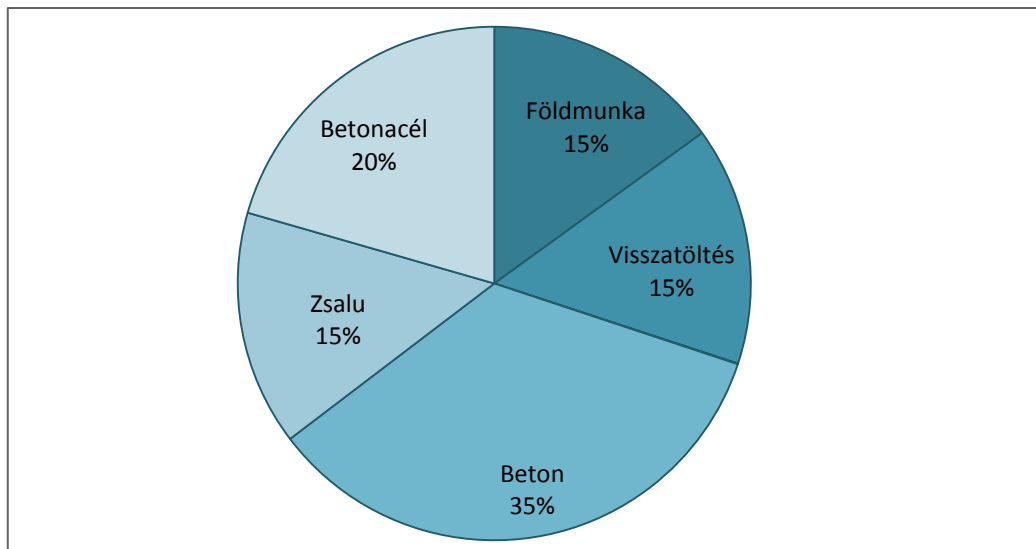
A szögtámfalak munkaigényei között az súlytámfalaknál leírtakhoz hasonlóan megjelenik a bevágás és a visszatöltés költsége. Ezeket a 4. és a 8. 9. 10. táblázat segítségével lehetett meghatározni. A szerkezet falát szintén kétoldali zsaluzattal készítve veszem figyelembe, az egységköltségek a súlytámfalaknál leírtakhoz hasonlóan alakulnak. A szögtámfal falvastagsága jelentősen alatta marad a súlytámfalénak, ezért nem lép fel az ott vázolt probléma.

Mivel a szögtámfalak vasbeton szerkezetek, emiatt méretezett vasalással kell ellátni őket. A vasalás megtervezését a 8. 9. 10. táblázatban szereplő tervezési nyomatók alapján és az Eurocode 2 előírásai alapján számítottam ki. A számítás során figyelembe vettem a maximális vasalás elhagyását, illetve a minimális vasmennyiségeket a falnál, az alaplemeznél, hossz illetve keresztirányban is. A gyámpillérben szükséges vasmennyiség tervezésekor azzal a feltételezéssel éltem, hogy a pillérben 400N/mm^2 feszültség ébred, így a betonacélok rugalmas állapotban maradnak. Hosszukat a pillérben található átlagos hosszal vettem figyelembe. Ezek alapján adódott a támfalakra folyóméterenként jutó vasmennyiség. A vasszerelés egységköltségét 240 Ft/kg értékre vettem föl (Vallyon, 2012), amely tartalmazza a betonacélok árát, a vágás és hajlítás, valamint a vasszerelés költségét is. A szögtámfalak munkaigényeit, költségeit és fajlagos költségét tartalmazza a 18. táblázat.

18. táblázat: A szögtámfalak munkaigényei, költségei és fajlagos költségei

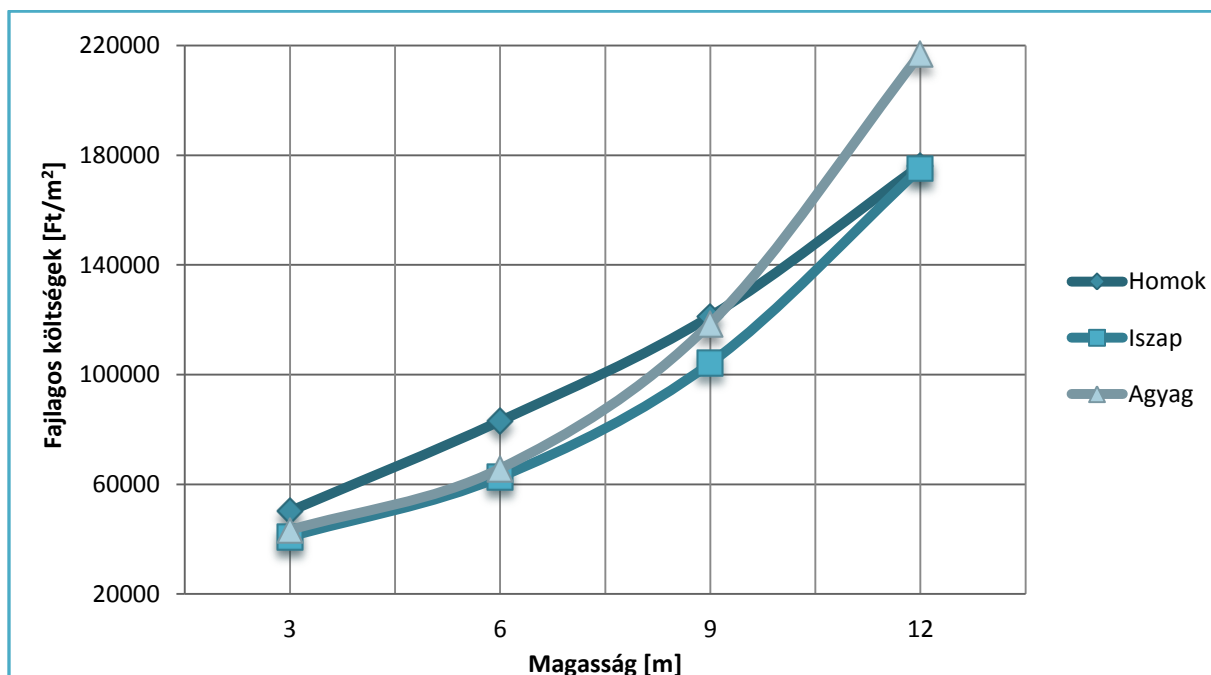
h [m]	Földmunka [m ³ /m]	Terület [m ² /m]	Beton [m ³ /m]	Zsalu [m ² /m]	Vas [kg/m]	beton _{gyám} [m ³ /m]	zsalu _{gyám} [m ² /m]	vas _{gyám} [kg/m]
Homok								
3	29	3	2,3	4	106,7	0	0	0
6	112,1	4,5	6,2	7,33	338	1,7	2,7	27,4
9	294,8	7	11,28	10,5	783	5	6,3	63,2
12	529,7	9,3	22,8	14,25	1649,9	8,3	10,6	161,3
Iszap								
3	5,9	2,4	2,1	4	103	0	0	0
6	27,3	3,4	5,6	7,33	297,1	1,2	1,9	18,6
9	113,5	6,25	10,8	10,5	771,5	4,4	5,5	50,8
12	322	8,5	21,9	14,25	1647,5	7,7	9,6	141,2
Agyag								
3	5,3	2,4	2,1	4	104,7	0	0	0
6	18,2	3,4	5,6	7,33	301,2	1,2	2,7	24,4
9	79,2	6	13,1	10,5	783,6	5,3	5,3	79
12	282,4	10,7	23,4	14,25	1891,9	9	11,2	209,7
h [m]	Földmunka [Ft]	Visszatöltés [Ft]	Terület [Ft]	Beton [Ft]	Zsalu [Ft]	Betonacél [Ft/kg]	Σ költség [Ft]	Fajl.költség [Ft/m ²]
Homok								
3	17 400	17 400	300	54 050	36 000	25 608	150 758	50 253
6	67 260	67 260	450	185 650	90 270	87 696	498 586	83 098
9	176 880	176 880	700	382 580	151 200	203 088	1 091 328	121 259
12	317 820	317 820	930	730 850	313 110	434 688	2 115 218	176 268
Iszap								
3	3 540	8 850	240	49 350	36 000	24 720	122 700	40 900
6	16 380	40 950	340	159 800	83 070	75 768	376 308	62 718
9	68 100	170 250	625	357 200	144 000	197 352	937 527	104 170
12	193 200	483 000	850	695 600	300 510	429 288	2 102 448	175 204
Agyag								
3	3 180	15 900	240	49 350	36 000	25 128	129 798	43 266
6	10 920	54 600	340	159 800	83 070	78 144	394 074	65 679
9	47 520	237 600	600	432 400	142 200	207 024	1 067 344	118 594
12	169 440	847 200	1070	761 400	320 670	504 384	2 604 164	217 014

A 12 méter magas homokon készült szögtámfal költségeinek egymás közötti megoszlását mutatja a 33. ábra. Az ábráról jól ható, hogy a homokon épült támfalnál a visszatöltés részaránya jóval kisebb, mint a 32. ábrán bemutatott agyagon épült súlytámfal. Ennek oka, hogy a homokot könnyen be vissza tudjuk tömöríteni a támfal mögé, és nincs szükség arra, hogy külön töltésanyagot odaszállítsunk. Megállapítható továbbá, hogy a beton részaránya kisebb (35%), mint a súlytámfalnál (ami nyilvánvalóan várható is volt). Ha tovább vizsgáljuk az ábrát, akkor látható továbbá, hogy a szerkezetépítés összesen 70%-ot, míg a földmunka 30%-ot tesz ki.



33. ábra: szögtámfalak költségeinek megoszlása, 12 méter magas, homok talaj

A 34. ábráról látszik, hogy a homokon épült szögtámfal a vizsgált tartományon kb. 9 méterig drágább az iszapon vagy agyagon épült társaihoz képest. Ennek oka, hogy az alacsonyabb szerkezetek esetén a homokot csak nagyobb földmunkával lehet megépíteni. 9 méter fölött a különbségek már jóval kisebbek, és már inkább a háttöltés építésének költsége lesz domináns. Ezzel indokolható, hogy az agyag lényegesen drágább lesz a 12 méteres magasságban.



34. ábra: A szögtámfalak fajlagos költségeinek tendenciája különböző talajtípusok esetén

5.4. Befogott résfalak költségei:

A befogott és horgonyzott résfal az egyetlen olyan általam vizsgált szerkezet, amely (gyakorlatilag) nem igényel földmunkát. A résfal által elfoglalt terület minimális, ennek ellenére figyelembe vettem. A résfalhoz szükséges beton mennyisége a 11. táblázatban szereplő értékek alapján, a betonacél mennyisége a szögtámfalakhoz hasonlóan az MSZ EN 1992 előírásainak megfelelően számítható.

A résfalak építése számos részfeladat megoldását igényli, pl. a résfal tetejének visszavésése, maga a réselés és a zagytechnológia, valamint a fejgerenda építése. A számítás során azt feltételeztem, hogy a fal felső 25 cm-es részét szükséges visszavésni, amelynek költsége 35 000 Ft/m³ (Vallyon, 2012). A réselés költsége lényegében a résfal vastagságának függvénye. A 45 cm-es falnál 10 000 Ft/fm, míg 65cm-es falnál 11 500Ft/fm-es árral vettem figyelembe. A résfalak összefogásához szükség van egy fejgerenda építésére, amelynek szélességét a réstábla vastagsága plusz két irányban 5 cm, míg magasságát a szélességével egyezően vettem fel. Ennek ára az ehhez szükséges beton, betonacél és zsaluzás költségéből tevődik össze.

A résfalak felülete a technológia következtében nem lesz egyenletes, és legkevésbé sem esztétikus. Az 1.4. fejezetben leírtak szerint, a szerkezeteinknek elfogadható mértékben esztétikusnak is kell lenniük, ezért szükség lehet a résfalak felületképzés. Ezt az igényt simított löttbetonos felületképzéssel oldottam meg. Ennek árát 9 000 Ft/m²-nek vettem fel (Vallyon, 2012).

A résfalak építése ezen kívül még kiegészülhetne egy igen jelentős költséggel, amely a felvonulás költsége, amely kb. 2-3 MFt. Ennek ellenére ezt a költséget nem veszem figyelembe, mert 2.2. fejezetben leírtak alapján olyan hosszúnak tételeztem fel a területet, hogy ott a fix költségek folyóméterre vonatkozóan már elenyészőek.

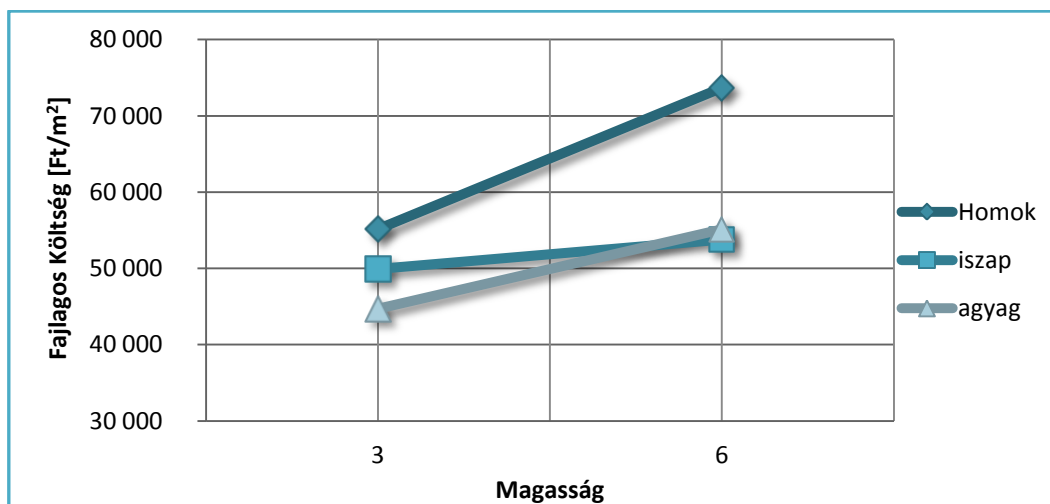
19. táblázat: Befogott résfalak munkaigényei

h [m]	Terület [m ³ /m]	Beton [m ³ /m]	Betonacél [kg/m]	Löttbeton [m ² /m]	Fejgerenda	visszavésés [m ³ /m]
Homok						
3	0,45	3,15	128,6	3	0,6X0,6	0,1125
6	0,65	8,45	564,7	6	0,8X0,8	0,1625
Iszap						
3	0,45	2,7	110,2	3	0,6X0,6	0,1125
6	0,45	5,85	390,3	6	0,6X0,6	0,1125
Agyag						
3	0,45	2,25	91,8	3	0,6X0,6	0,1125
6	0,45	6,3	370,9	6	0,6X0,6	0,1125

20. táblázat: Befogott résfal költségei és fajlagos költsége

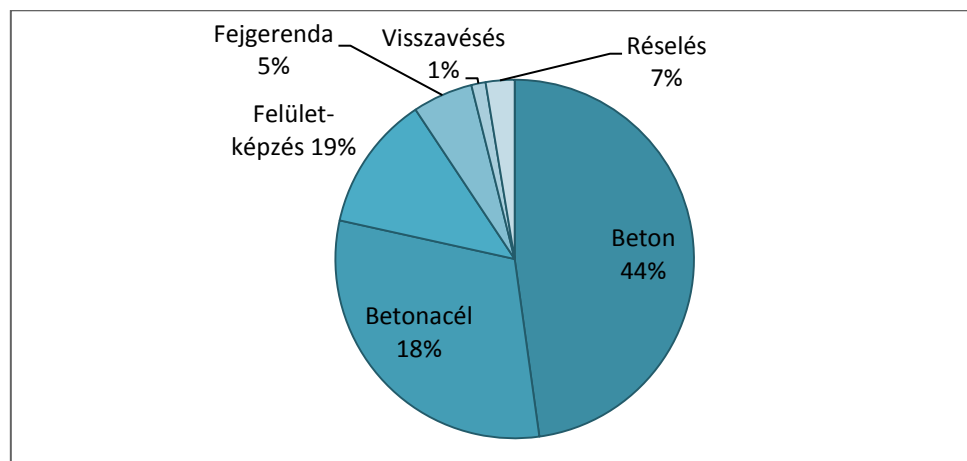
h [m]	Terület [Ft]	Beton [Ft]	Betonacél [Ft]	Felület-képzés [Ft]	Fejgerenda [Ft]	Visszavésés [Ft]	Réselés [Ft]	Σ ár [Ft]	Fajlagos ár [Ft/m ²]
Homok									
3	45	78 750	30 860	27 000	14 877	3 937	10 000	165 470	55 157
6	65	211 250	135 539	54 000	24 048	5 687	11 500	442 090	73 682
Iszap									
3	45	67 500	26 451	27 000	14 877	3 937	10 000	149 811	49 937
6	45	146 250	93 682	54 000	14 877	3 937	10 000	322 792	53 799
Agyag									
3	45	56 250	22 043	27 000	14 877	3 937	10 000	134 153	44 718
6	45	157 500	89 019	54 000	14 877	3 937	11 500	330 879	55 146

A szabadon támaszkodó résfalak tendenciáját szemlélteti a 35. ábra. Az ábráról látható, hogy a homokon épített résfal jóval drágább, mint az iszapon vagy agyagon épített társai. Ennek oka egyrészt az, hogy homok jobban terheli a falat, amely miatt nagyobb a betonacél igénye, másrészt a nagyobb befogási mélység miatti több betont igényel.



35. ábra: A befogott résfalak fajlagos költségeinek alakulása a különböző talajtípusok esetében

Ezek alapján a 36. ábrán egy 6 méter magas homokba résfal költségeinek egymás közötti megoszlása látható.



36. ábra: Befogott támfal költségeinek egymás közötti megoszlása

5.5. Horgonyzott résfalak költségei:

A horgonyzott résfal költségei a befogott résfalhoz hasonlóan alakulnak, egyedüli többletköltséget a horgonyzás jelent, amelyet 50 000 Ft/fm-es áron vettem figyelembe (Vallyon, 2012). Ez az ár tartós, a szerkezet teljes élettartama alatt működő horgonyokra vonatkozik, és egységára azért ilyen nagy, mert tartalmazza a pászmák megfelelő korrózióvédelmét. Ezek alapján a munkamennyiségeket és a költségeket a 21. táblázat tartalmazza.

21. táblázat: Horgonyzott résfalak munkaigényei

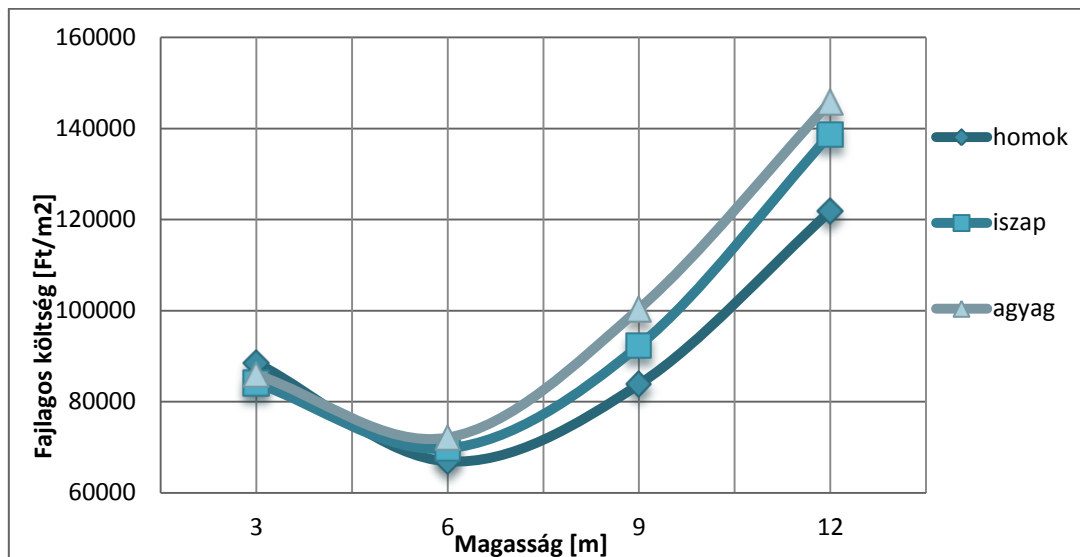
h [m]	Terület [m ² /m]	Beton [m ³ /m]	Betonacél [kg/m]	horgony [m/fm]	Felületkezelés [m ² /m]	Fejgerenda	Visszavésés [m ³ /fm]
Homok							
3	0,45	2,475	101	2,4	3	0,6X0,6	0,11
6	0,45	4,05	140,7	3,6	6	0,6X0,6	0,11
9	0,65	8,45	397,6	6,4	9	0,8X0,8	0,16
12	0,65	11,05	650,4	17,5	12	0,8X0,8	0,16
Iszap							
3	0,45	2,25	68,9	2,4	3	0,6X0,6	0,11
6	0,45	4,05	128,8	4	6	0,6X0,6	0,11
9	0,65	8,45	383,1	8	9	0,8X0,8	0,16
12	0,65	11,7	799,1	20,5	12	0,8X0,8	0,16
Agyag							
3	0,45	2,25	91,8	2,4	3	0,6X0,6	0,11
6	0,45	4,05	187,6	4	6	0,6X0,6	0,11
9	0,65	9,1	513,8	8,5	9	0,8X0,8	0,16
12	0,65	11,7	854,2	28	12	0,8X0,8	0,16

22. táblázat: Horgonyzott résfalak költségei és fajlagos költsége

h [m]	Terület [Ft]	Beton [Ft]	Betonacél [Ft]	Felületképzés [Ft]	Fejgerenda [Ft]	Visszavésés [Ft]	Zagy + markolás [Ft]	Horgonyzás [Ft]	Összes költség [Ft]	Fajlagos költség [Ft/m ²]
Homok										
3	45	61 875	24 240	27 000	14 877	3 938	10 000	120 000	261 975	87 325
6	45	101 250	33 768	54 000	14 877	3 938	10 000	180 000	397 878	66 313
9	65	211 250	95 424	81 000	24 049	5 688	11 500	320 000	748 975	83 219
12	65	276 250	156 144	108 000	24 049	5 688	11 500	875 000	1 456 695	121 391
Iszap										
3	45	56 250	16 536	27 000	14 877	3 938	10 000	120 000	248 646	82 882
6	45	101 250	30 912	54 000	14 877	3 938	10 000	200 000	415 022	69 170
9	65	211 250	91 944	81 000	24 049	5 688	11 500	400 000	825 495	91 722
12	65	292 500	191 784	108 000	24 049	5 688	11 500	1 025 000	1 658 585	138 215
Agyag										
3	45	56 250	22 032	27 000	14 877	3 938	10 000	120 000	254 142	84 714
6	45	101 250	45 024	54 000	14 877	3 938	10 000	200 000	429 134	71 522
9	65	227 500	123 312	81 000	24 049	5 688	11 500	425 000	898 133	99 790
12	65	292 500	201 888	108 000	24 049	5 688	11 500	1 100 000	1 743 689	145 307

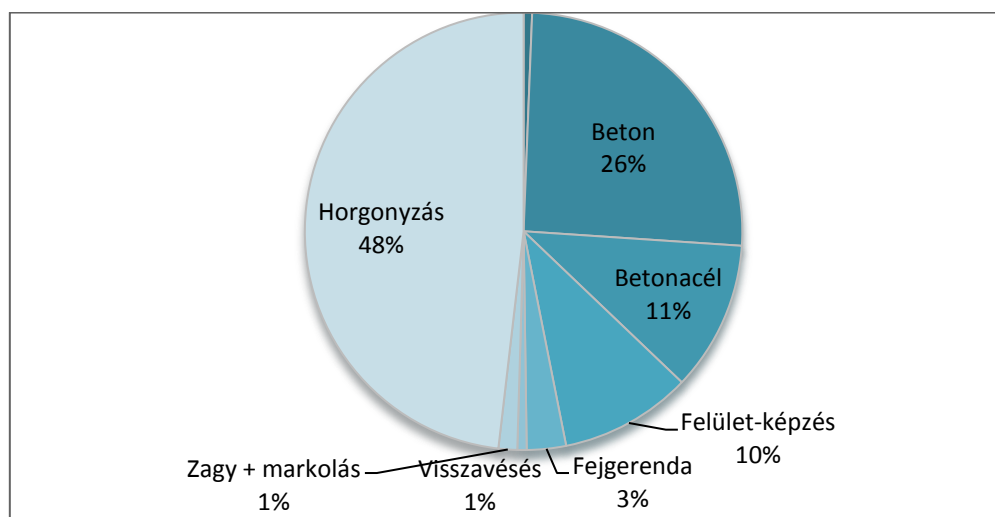
A 37. ábrán látható, hogy a horgonyzott résfal fajlagos költsége 3 és 6 méter között (egyedülként a vizsgált szerkezetek között) csökken. Ez azzal magyarázható, hogy erre a kicsi magasságra a legkisebb 45 cm-es résfal is túlzás, és fajlagosan túl nagy költséget jelent. Érdekes megfigyelni, hogy az eddig vizsgált szerkezetekkel ellentétben, itt a költségfüggvények egészen összetartanak, és azonos trendet

követnek az egyes talajtípusok esetében, amely a földmunka hiányával magyarázható. Érdekes még megfigyelni, hogy bár a különbségek nem nagyok, mégis az agyag költségei nagyobbak a homokhoz és iszaphoz képest. Ennek oka, hogy a horgonyzás költségei jelentősen megnőnek, mivel itt van szükség a leghosszabb horgonyokra ahhoz, hogy a befogott szakasz a szakadólapon túl legyen.



37. ábra: Horgonyzott résfalak költségeinek alakulása különböző talajtípusok esetében

Megvizsgálva a 38. ábrát látható, hogy a résfal költségének jelentős részét (48%) a horgonyzás teszi ki, és körülbelül negyedét (26%) a beton. Látható, hogy a beton részarányának csökkenése jelentős a szabadon támaszkodó résfalhoz képest.



38. ábra: Horgonyzott résfalak költségeinek megoszlása, 9 méteres iszap talajra

5.6. Talajszegezés költségei:

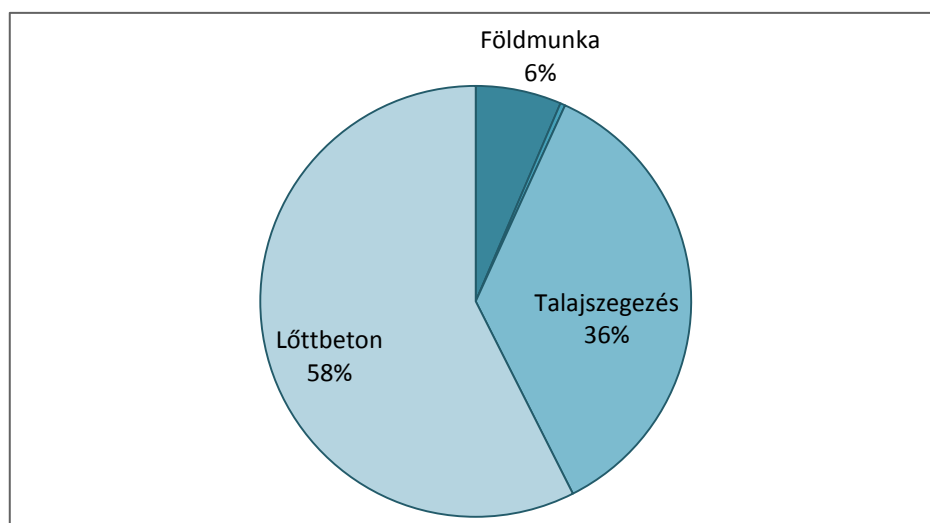
Az eddigi trendek alapján látható, hogy a jelenlegi árakkal a rézsű messze a leggazdaságosabb megtámasztási mód (alacsony kisajátítási költségek mellett). A szakirodalom áttanulmányozása és a 2.

táblázat alapján az várható, hogy a talajszegezés egy igen költséghatékony földmegtámasztási módszer lesz. A talajszegezés költségei között az eddigiekhez hasonlóan szerepel a földmunka és a kisajátítási terület. Amint az a 39. ábrán látható, a talajszegezés egyik domináns összetevője (36%) a talajszegések ára és beverése. A költségeket úgy számítottam, hogy a mindenkor betonacél árához 160Ft/kg-os díjat adtam hozzá (Vallyon, 2012). Ezek alapján a vizsgálatom időpontjában 320Ft/kg-os talajszegzési díjat vettem figyelembe.

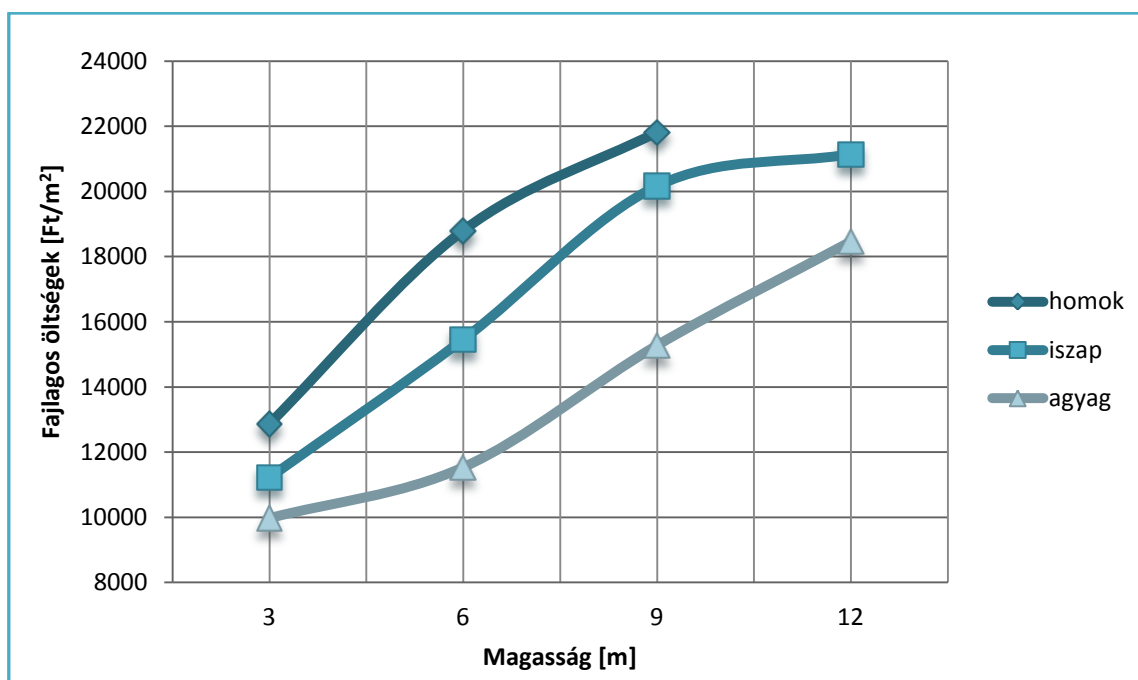
A talajszegezés másik domináns összetevője (58%) a löttbetonozás. Ennek árát (Vallyon, 2012) 8000Ft/m² árral vettem figyelembe, amely tartalmazza az acélháló árát, a beton anyagárát és a visszahullási veszteséget, valamint a technológia munkadíját. Érdekes az árak egymás közötti eloszlását megnézni a 39. ábrán. A 23. táblázat tartalmazza a talajszegezés munkaigényeit, költségeit és fajlagos költségeit, amelyet a 14. táblázat alapján lehetett számítani.

23. táblázat: Talajszegezés munkaigényei, költségei és fajlagos költsége

h [m]	Földmunka [m ³ /m]	Terület [m ² /m]	Talajszeg [kg/m]	Lőttbeton [m ² /m]	Földmunka [Ft]	Terület [Ft]	Talajszegezés [Ft]	Lőttbeton [Ft]	Összes költség [Ft]	Fajlagos költség [Ft/m ²]
Homok										
3	1	0,7	38,5	3,2	600	70	12 331	25 600	38 601	12 867
6	12,1	4,2	126,0	8,1	7 260	420	40 322	64 800	112 802	18 800
9	47,1	10,8	257,0	10,6	28 260	1 080	82 246	84 800	196 386	21 821
Iszap										
3	1	0,7	23,1	3,2	600	70	7 398	25 600	33 668	11 223
6	3,8	1,3	119,8	6,5	2 280	130	38 349	52 000	92 759	15 460
9	12,1	2,8	293,6	10	7 260	280	93 960	80 000	181 500	20 167
12	40,4	7	333,7	15,3	24 240	700	106 784	122 000	253 724	21 144
Agyag										
3	0	0	18,5	3	0	0	5 919	24 000	29 919	9 973
6	3,8	1,3	46,2	6,5	2 280	130	14 797	52 000	69 207	11 534
9	12,1	2,8	156,1	10	7 260	280	49 940	80 000	137 480	15 276
12	40,4	7	233,1	15,3	24 240	700	74 601	122 000	221 541	18 462



39. ábra: A talajszegezés költségeinek egymás közötti megoszlása, 6 méteres magas, homok talaj esetében



40. ábra: Talajszegezés költségeinek tendenciája különböző talajtípusok esetén

Megvizsgálva a 40. ábrát megállapítható, hogy nincs lényeges különbség az egyes talajtípusok között, kizárólag a kisebb mérték miatt látszik nagyoknak az eltérések. Ez a kis különbség a résfalakhoz hasonlóan a földmunkára vezethető vissza, ugyanis a talajszegezés esetén a rézsű szöge közel azonos homok és kötött talajok esetén is, emiatt a földmunka költsége nagyjából azonos.

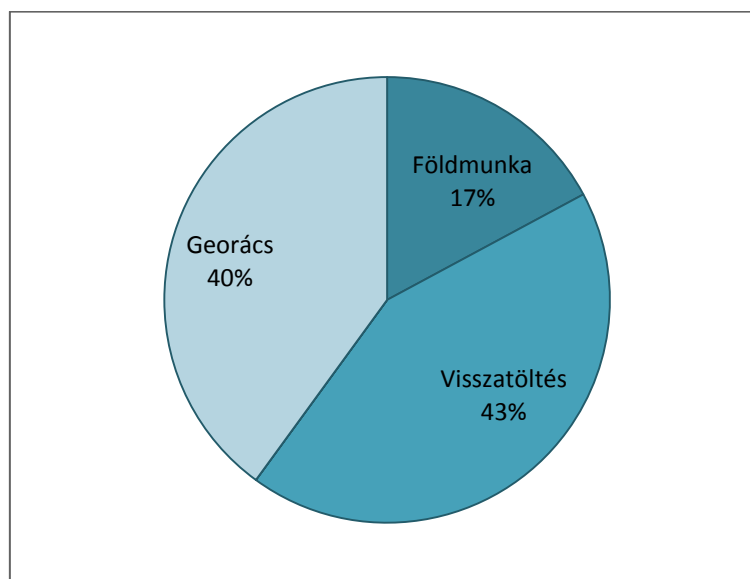
5.7. Georácscsal erősített talajtámfalak költségei:

A szakirodalom áttanulmányozása után az lenne a várható, hogy ezek a szerkezetek a leggazdaságosabbak között fognak szerepelni. A georácsok építése elsősorban töltések építésénél lehet előnyös, mivel bevágásban ugyan úgy meg kell építeni egy igen nagy ideiglenes rézsűt, majd visszahordani a földet és tömöríteni. Ezzel szemben, ha töltést készítünk, akkor a töltésepítés költsége gyakorlatilag mindegyik szerkezethöz jelentkezik, és emiatt lehet az egyik legversenyképesebb műszaki megoldás. Mivel az általam választott modell a bevágásokat vizsgálja, ezért a fent leírt okok miatt nem várható a szakirodalomban tapasztalható gazdasági előny a georácscsal erősített szerkezetek esetében.

A georácsok részköltségei között a többi szerkezethez hasonlóan megjelenik a földmunka és az elfoglalt terület ára. Ez a költség egészül ki a georácsok anyag- és fektetési költségének árával, amelyet 1000Ft/m árral vettem figyelembe (Vasics, 2012). Ezek alapján a georácsos megerősítés munkaigényeit és költségeit mutatja a 24. táblázat. A georácsok esetében is fontos a megfelelő anyagú háttöltés építése, amelyek árát a súly- és szögtámfalakhoz hasonlóan vettem figyelembe. A 41. ábrán jól látható, hogy a visszaépítés részaránya mennyire jelentős, közel 50%-át teszi ki a teljes költségnek.

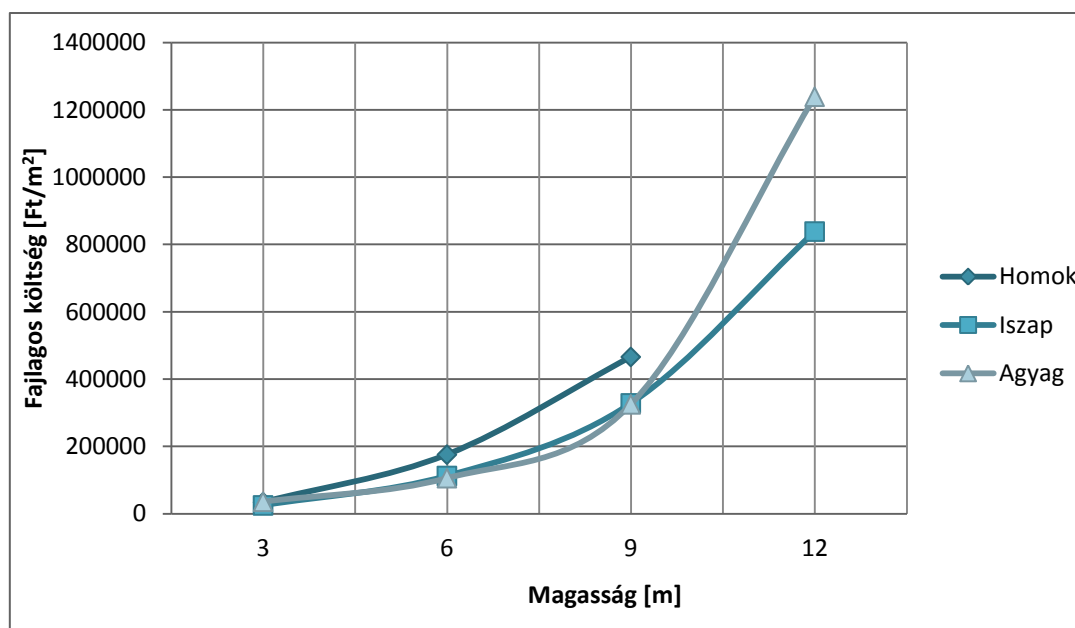
24. táblázat: Georáccsal erősített talajok munkaigényei és költségei

h [m]	Földmunka [m³/m]	Terület [m²/m]	Georács [m²/m]	Földmunka [Ft]	Visszatöltés [Ft]	Terület [Ft]	Georács [Ft]	Összes költség [Ft]	Fajlagos költség [Ft/m²]
Homok									
3	20,3	0,3	10	12180	12180	30	10000	34390	11463
6	115,9	7,6	36	69540	69540	760	36000	175840	29307
9	299,9	12,4	105	179940	179940	1240	105000	466120	51791
Iszap									
3	7,15	0	10	4290	10725	0	10000	25015	8338
6	36,37	0	36	21822	54555	0	36000	112377	18730
9	117,6	1	81	70560	176400	100	81000	328060	36451
12	323	3,3	160	193800	484500	330	160000	838630	69886
Agyag									
3	7,15	0	10	4290	21450	0	10000	35740	11913
6	21,1	0	30	12660	63300	0	30000	105960	17660
9	69,5	1	75	41700	208500	100	75000	325300	36144
12	299,6	7,4	160	179760	898800	740	160000	1239300	103275



41. ábra: A georáccsal erősített talajtámfalak költségeinek megoszlása, 3 méter magas, iszap talajon

A 42. ábrán látható a georáccsal erősített talajtámfalak tendenciái a különböző talajtípusok esetén. Az ábrán látható, hogy 12 méter magas agyagon épült támfal már közel 50%-al drágább, mint az iszapon épült társa. Ez azzal magyarázható, hogy az agyag teljesen alkalmatlan arra, hogy abból háttöltést tudjunk építeni, emiatt a költségeinek egy jelentős részét a betömöríthető háttöltés anyagának, szállításának és beépítésének ára teszi ki.



42. ábra: Georáccsal erősített talajok költségeinek tendenciája különböző talajtípusok esetében

5.8. Hibrid falak költségei:

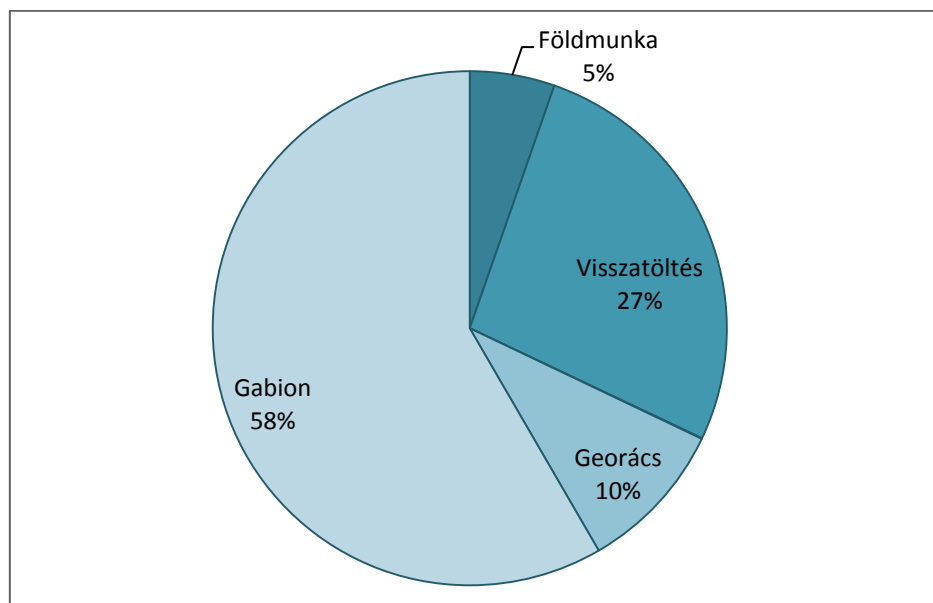
A hibrid falaknál is érvényes a georáccsal erősített szerkezeteknél leírtak, miszerint gazdasági előnyük főként akkor jöhet elő, ha nem bevágásban készülnek, hanem töltésben. A költségek között szerepel a georácsok, valamint a gabion elemek ára. A georácsok egységára az előzővel ellentétben 1500 Ft/m, mivel itt a georácsokat külön hozzá kell erősíteni a támfalhoz, amely többletmunkát igényel. A gabionok költsége összetevődik a kosár, a kosárban lévő 100/250-es bazalt zúzottkő, a zúzottkő szállítási költsége, valamint az összeszerelés árából. Ezek alapján a gabion elemek egységárát 37500Ft/m³-nek vettem fel (Vasics, 2012). A 15. táblázat alapján számíthatóvá váltak az egyes munkaigények, amelyeket a 25. táblázat tartalmazza, költségekkel egyetemben.

25. táblázat: Hibrid falak munkaigényei és költségei

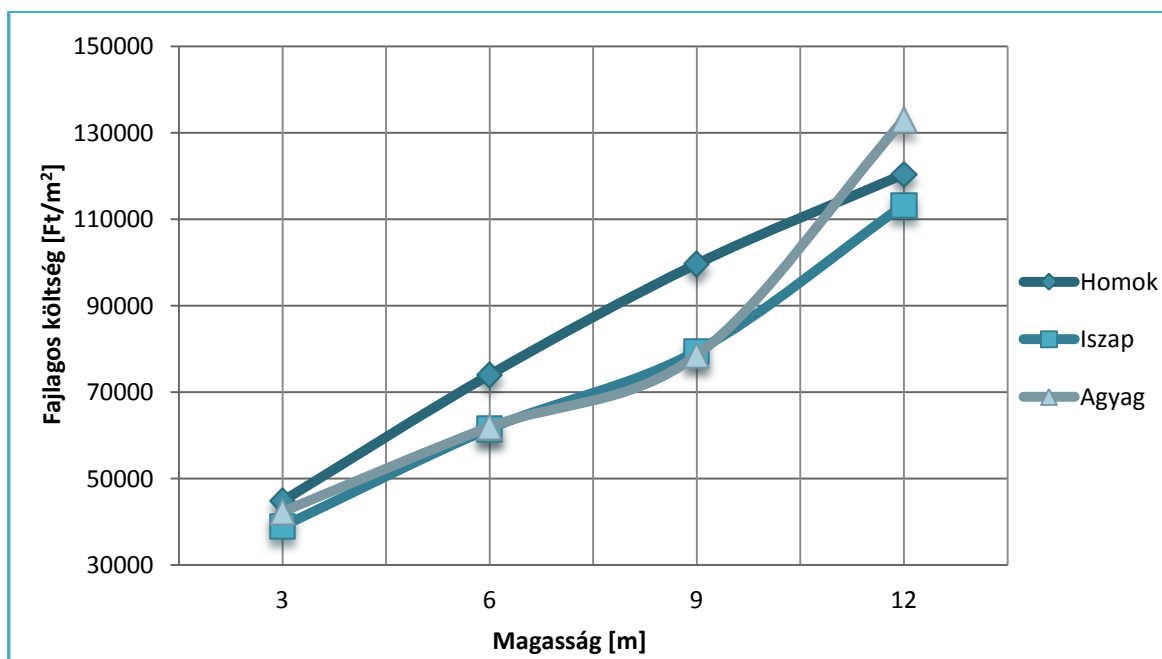
h [m]	Földmunka [m³/m]	Terület [m²/m]	Georács [m/m]	Gabion [m³/m]	Földmunka [Ft]	Visszatöltés [Ft]	Terület [Ft]	Georács [Ft]	Gabion [Ft]	Összes költség [Ft]	Fajlagos költség [Ft/m²]
Homok											
3	26,3	1,4	6	2,5	15 780	15 780	140	9 000	93 750	134 450	44 817
6	109,4	2	21	7,5	65 640	65 640	200	31 500	281 250	444 230	74 038
9	278,8	3,4	50	13	167 280	167 280	340	75 000	487 500	897 400	99 711
12	470,4	4,1	87,1	20	282 240	282 240	410	130 650	750 000	1 44 5540	120 462
Iszap											
3	6,7	1,4	6	2,5	4 020	10 050	140	9 000	93 750	116 960	38 987
6	35,9	1,7	21	7	21 540	53 850	170	31 500	262 500	369 560	61 593
9	112,1	2,8	45	11	67 260	168 150	280	67 500	412 500	715 690	79 521
12	301,2	3,6	84,5	16	180 720	451 800	360	126 750	600 000	1 359 630	113 303
Agyag											
3	6,7	1,4	6	2,5	4 020	20 100	140	9 000	93 750	127 010	42 337
6	21,5	1,7	21	7	12 900	64 500	170	31 500	262 500	371 570	61 928
9	62,9	2,8	45	11	37 740	188 700	280	67 500	412 500	706 720	78 524
12	244,1	3,6	78	16	146 460	732 300	360	117 000	600 000	1 596 120	133 010

Az alábbi ábrán látható a 6 méter magas, agyagon épült hibrid fal költségeinek egymás közötti megoszlása. Az ábráról jól látszik, hogy hibrid falak költségének fő összetevője a gabion elemek építésének ára. Ebből az is következik, hogy ha a súlytámfalat nem gabionnal, hanem valamilyen alternatív módon alakítjuk ki, akkor jelentősen változhat meg a hibrid falak nominális ára. Az iparban jelenleg is számos lehetőség van, pl.: előregyártott beton dobozok, kosarak, stb.

Érdemes összevetni az alábbi ábrát a súlytámfalak költségmegoszlás ábrájával. Világosan látszik, hogy a költségek megoszlása nagyon hasonló mindkét esetben. Maga a szerkezetépítés itt is kb. 70%-át teszi ki az építkezésnek, míg a maradék 30% a föld eltávolítása és visszatöltése.



43. ábra: Hibrid falak költségeinek megoszlása, 6 méteres, agyagon épült fal esetén



44. ábra: A hibrid falak költség tendenciái különböző talajtípusok esetén

A fenti ábrán ábrázoltam a hibrid falak költségeinek alakulását a magasság függvényében. Az ábrán látható, hogy 9 méterig a függvények viszonylag összetartóak, majd 9 méter után az iszap (az eddigiekhez hasonlóan) meredeken elkezd emelkedni. Ennek oka a súlytámfalakhoz hasonlóan a visszatöltésnek építésének tudható be.

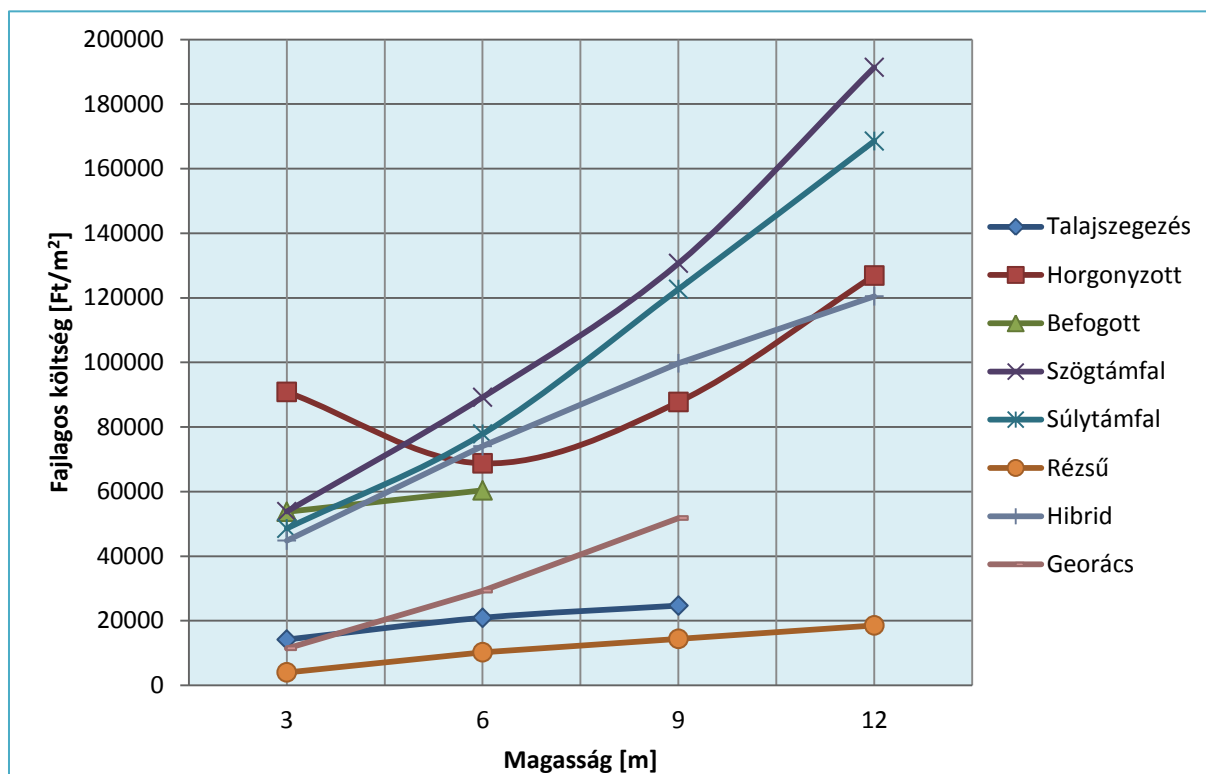
6. Értékelés:

6.1. Költséghatékonyság vizsgálat:

Az előző fejezetben meghatároztam az egyes szerkezetek fajlagos költségeit. Ebben a fejezetben a 16. ábrához hasonlóan, talajtípusonkénti bontásban fogom ezeket bemutatni. Az így kapott diagramról világosan és egyszerűen leolvashatóvá fog válni, hogy az egyes magassági intervallumokon melyik a leggazdaságosabb szerkezet.

Homok:

Vessünk egy pillantást a 45. ábrára. Az ábráról jól látható, hogy az általam felvett árakkal minden tartományon a rézsű a leggazdaságosabb megoldás annak ellenére is, hogy a homok esetén a legnagyobb a földmunka és az elfoglalt terület. Az eredmény nem meglepő, hiszen viszonylag alacsony kisajátítási árat vettem fel. Egy nagyobb projekt esetén (pl. autópálya építés, ipari beruházás) a kisajátítási költségek akár a többszörösére is megemelkedhetnek, amely a kevésbé gazdaságos irányba tolhatja el a rézsű költségfüggvényét. A rézsű árát befolyásolhatja még, ha a kiemelt földet nagyobb távolságba kell deponálni. Ennek ellenére kijelenthető, hogy ha rendelkezésre áll a szükséges terület, és kedvező kisajátítási költségeink vannak, minden esetben a rézsűs megtámasztást érdemes választani.



45. ábra: Földmegtámasztó szerkezetek fajlagos költségei homok talaj esetén

Az ábrán látható, hogy a rézsű után a második és harmadik leggazdaságosabb megtámasztási mód a talajszegezés és a georáccsal erősített talajtámfal. A talajszegezés nagy előnye a többi szerkezettel szemben, hogy megépítéséhez nem szükséges megbontani a domboldalt, majd visszaépíteni egy háttöltést. Ha a szegezést összehasonlítom a georácsos megerősítéssel, akkor látható, hogy bár utóbbi alacsonyabb fajlagos költségről indul 3 méteren, a háttöltés építése miatt jóval meredekebben emelkedik, majd 9 méteren már közel 2,5-szer drágább.

Hasonlítsuk most össze a támfalakat. Az ábráról jól látható, hogy a klasszikus megoldások (súly és szögtámfal) fajlagosan a legdrágább szerkezetek közé tartoznak, és lényegében 4 méter fölött nem versenyképesek a többi megoldással szemben. A szerkezetek hasonló viselkedését jellemzi az is, hogy egészen 6 méterig teljesen azonos tendenciát követnek. 6 méter felett azonban lényeges eltérés kezd kialakulni a hagyományos támfalak és a hibrid fal között. 6 méter után kinyílik az „olló” a függvények között, és már jelentős költség takarítható meg, hiszen 9 méteren kb. 20%-kal, 12 méteren kb. 45%-al olcsóbbak a hibrid szerkezetek a hagyományos támfalakhoz képest. A hibrid falakról meg lehet állapítani továbbá, hogy a közel azonos ára van, mint a horgonyzott résfalaknak, és kb. 11m felett, már gazdaságosabb is lesz annál.

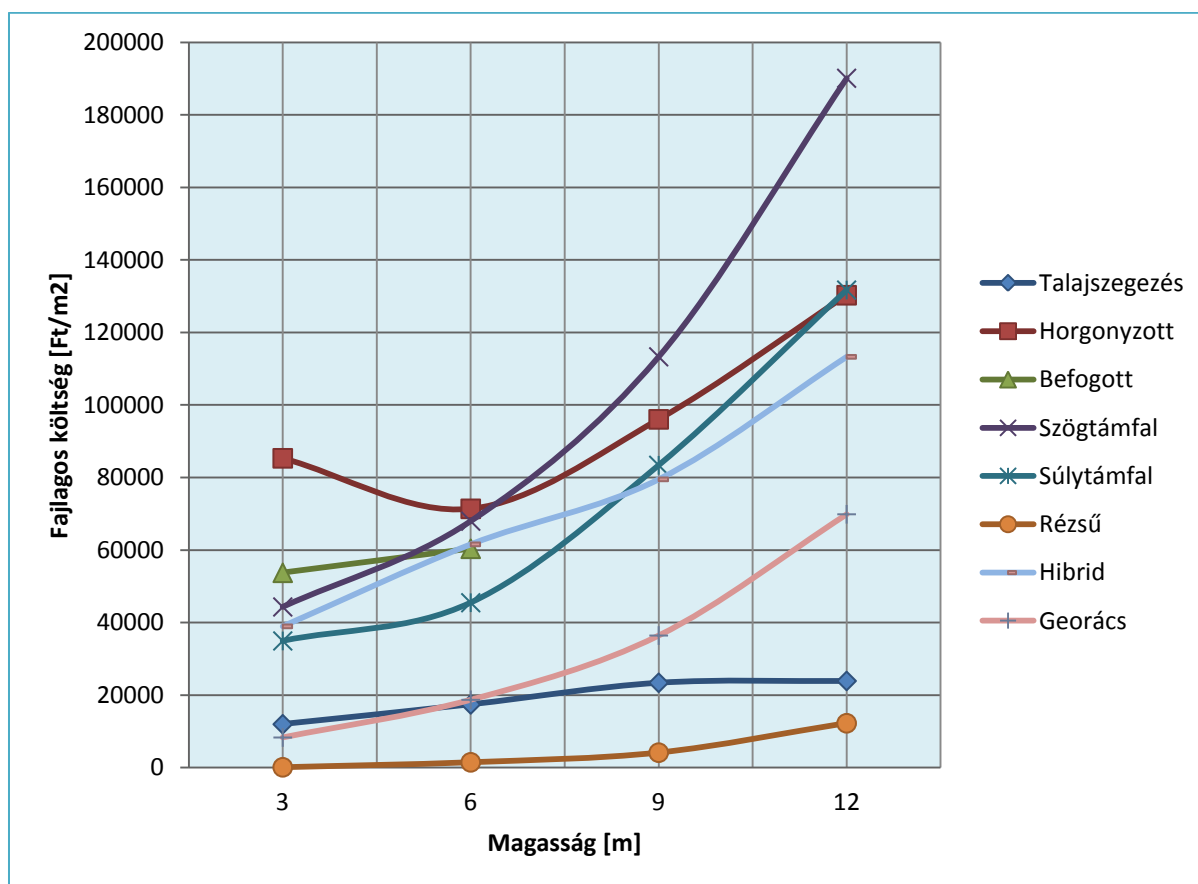
Utoljára hagytam a befogott és horgonyzott résfalak bemutatását. Az első megállapítás, hogy a résfalak kötött minimális mérete miatt, 4 méter alatt gyakorlatilag nem éri meg velük dolgozni. Azonban 4 és 6 méter között, a befogott résfal optimális választás lehet (amennyiben nem áll rendelkezésre elegendő hely rézsút vagy erősített rézsút építeni). A vizsgálatok előtt feltételezhető volt, hogy a horgonyzott résfallal költséget lehet megtakarítani, mert a kisebb befogással betont, a kisebb igénybevételekkel pedig betonacélt lehet megspórolni. Ez a megállapítás az ideiglenes horgonyok esetén igaz is lenne, ám a tartós horgonyok ára olyan jelentős, hogy a horgonyzott résfal költsége végeredményben lényegesen drágábbra adódott, mint a befogott társa. Természetesen 6 méter felett kénytelenek vagyunk horgonyozni, de ennek állékonysági és nem gazdaságossági oka van.

A résfallal építeni optimális és gazdaságos megoldás tehát, ha nem áll rendelkezésre elegendő terület rézsűs, vagy erősített rézsűs megtámasztáshoz. A résfalak gazdasági előnye tovább nő, ha a kisajátítási árak nőnek. Ezen kívül a horgonyzott résfalaknak biztosítják a legkisebb elmozdulásokat, ezért ott is használható, ahol a környezet süllyedését korlátozni kell.

Iszap:

A homokhoz hasonlóan az iszaphoz is elkészítettem a fajlagos költség-magasság diagramot, amelyet a 46. ábrán mutatok be. Vannak hasonlóságok, de lényeges különbségek is a homokhoz képest. Megállapítható például, hogy a rézsű szintén a legolcsóbb megoldás a homokhoz hasonlóan.

Lényeges eltérés azonban, hogy a georácsos erősítés 4,5 méterig még bevágásban is olcsóbb, mint talajszegezés. Ez az eredmény meglehetősen meglehetősen, hiszen a georácsnál egy viszonylag nagy földtömeget kell megbontani, majd azt visszatömöríteni a georács rétegek közé. A kapott eredményt mégis az indokolhatja, hogy az iszap ebben a magasságban még nagyon meredeken is állékony, és csak később válik a földmunka igazán nagyméretűvé. A magasság emelkedésével 6 méter fölött, már rohamosan kezd nőni a georáccsal erősített talajtámfal ára, de még mindig lényegesen olcsóbb ez a három megtámasztási mód, mint a többi. Ebből következik, hogy amennyiben rendelkezésre áll az építéshez szükséges terület, akkor érdemes e három megoldás közül választani.



46. ábra: Földmegtámasztó szerkezetek fajlagos költségei iszap talaj esetén

Meglepő módon a támfalak közül 8 méterig a hagyományos súlytámfal bizonyult optimálisnak és csak e fölött lett gazdaságosabb a hibrid fal. A vizsgált tartomány végén tehát igazak a homoknál megállapított tények, hiszen a 12 méter magas hibrid szerkezet esetén kb. 50% megtakarítás érhető el a szögtámfalakkal, és kb. 20% a súlytámfalakkal szemben.

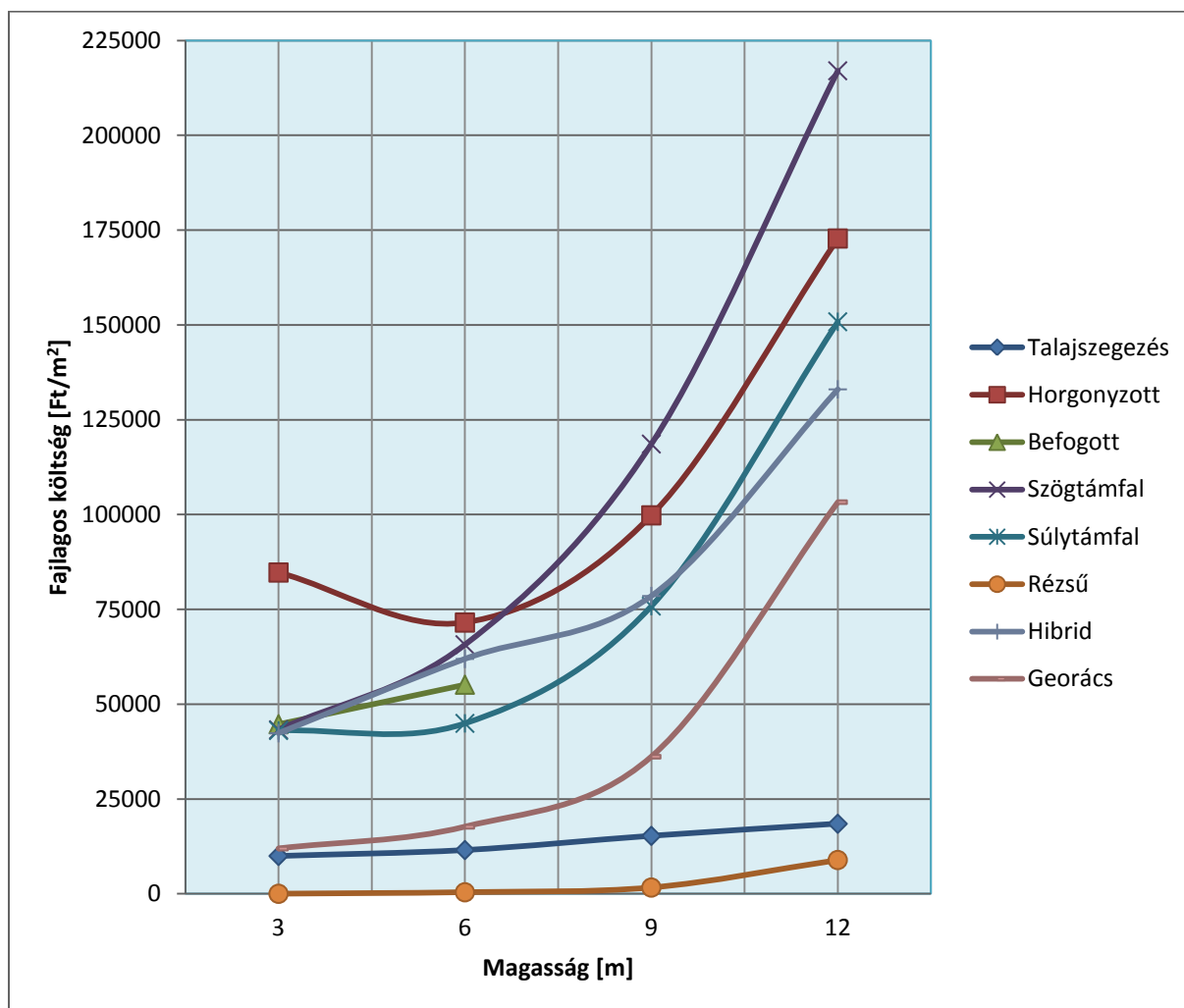
Megállapítható továbbá, hogy a homokhoz hasonlóan itt is csak állékonyági okok miatt kell horgonyozni a résfalakat, gazdasági előny a drága tartós horgonyzás miatt nem keletkezik. Összevetve az előző ábrával megállapítható, hogy összességében az iszapon olcsóbban lehet építkezni, mint a

homokon, amely a földmunka méretével magyarázható. Egyedül a horgonyzott résfal lett drágább iszapban, mint homokon, amely a hosszabb horgonyokkal magyarázható.

Az iszapnál tehát továbbra is a rézsút, illetve az erősített rézsűket érdemes választani a gazdaságos szerkezettervezés érdekében. Amennyiben nincs elég hely ezek megépítésére, akkor a érdemes lehet 8 méterig súly-, fölötté pedig hibrid támfalakat építeni.

Agyag:

Utolsóként az agyag talajra vonatkozó fajlagos költség-magasság diagramot készítettem el, amelyet a 47. ábrán szemléltetek. Az függvények gyakorlatilag ugyanazt a lefolyást követik, mint az iszap esetében. A szerkezetek némileg drágábban az iszaphoz képest, amely a drágább háttöltés építéssel indokolható. További megállapítás, hogy a georácsos megerősítés itt az iszappal ellentétben mindig drágább, mint a talajszegezés, amely szintén a háttöltés építés többlet költségével magyarázható.



47. ábra: Földmegtámasztó szerkezetek fajlagos költségei agyag talaj esetén

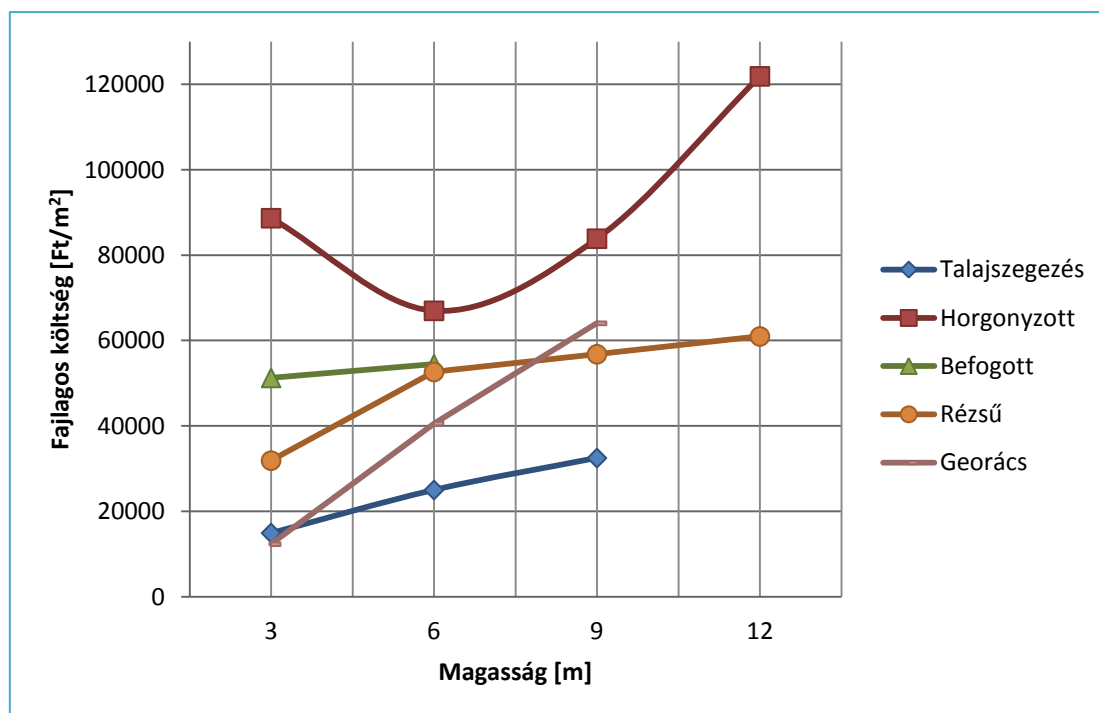
Leszámítva a három, rézsű elven működő megoldást (rézsű, talajszegezés, georács), az agyagnál a hagyományos súlytámfal egészen 9,5 méterig a leggazdaságosabb szerkezet, majd e fölött a horgonyzott résfal az optimális megoldás.

6.2. Árérzékenység vizsgálat:

A fent közölt eredmények a jelenlegi egységárak mellett igazak. Az általam készített program azért előnyös, mert dinamikusan tudom benne változtatni a költségek összetevőit. Egyes szerkezetek igen érzékenyek lehetnek összetevőik árváltozására. Ebben a fejezetben erre szeretnék néhány példát mutatni.

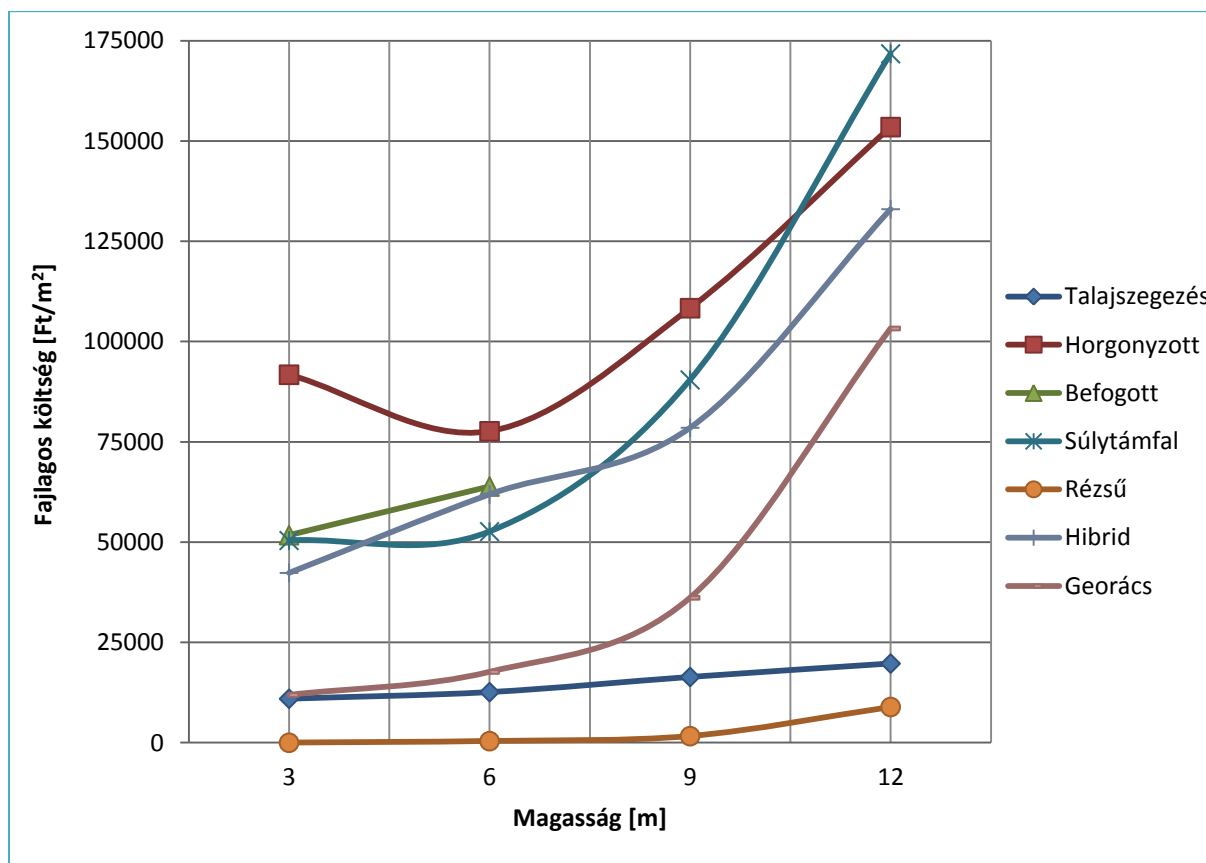
Elsőként azt a példát bemutatom be, hogy hogyan változnak meg a 48. ábrán látható fajlagos költségek homok talaj esetén, ha a kisajátítási költségek megnőnek. Példa erre, egy külvárosi területen történő építkezés, ahol a terület ára jóval nagyobb, mint a korábban vizsgált esetben. Az átlagos telekárát jelen esetben 9 000 Ft/m² áron vettem figyelembe (telekexpressz.hu, 2012). Az ábrán most nem tüntettem fel támfalakat, mivel a korábbi tapasztalatból kiindulva homokon nem voltak gazdaságosak. Érdekes megnézni, hogy a rézsű most már közel sem olyan gazdaságos, mint korábban, hiszen hatalmas területet foglal el.

Az ábrán látható, hogy ebben az esetben a leggazdaságosabb választás a talajszegezés. A georácsos erősítés is közel 7,5 méterig olcsóbb megoldás, mint a rézsű. Érdekes megfigyelni, hogy 6 méteren még a résfal is majdnem annyiba kerül, mint a rézsű.



48. ábra: Fajlagos költségek alakulása drága telken

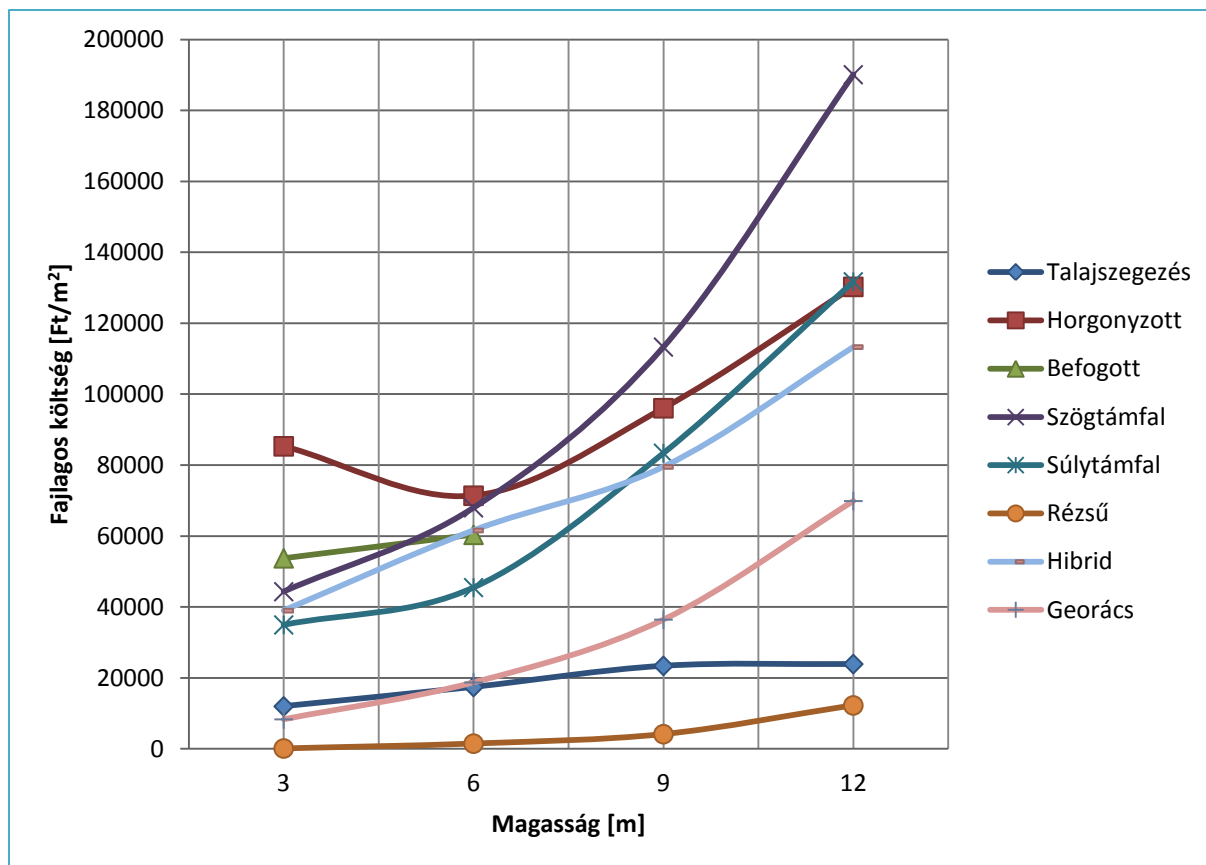
A következő példán azt mutatom be, hogy hogyan változnának meg az árak, ha a beton ára megnőne. Mint azt már korábban említettem, a betonnak jelenleg igen nyomott az ára, ami torzíthatja az eredményeket. A 49. ábra szemlélteti azt, ha a beton ára 30 000 Ft/m³-re változna. Ebből a változásból az következik, hogy minden olyan technológia, amelynek a beton a domináns összetevője, jelentősen meg fog drágulni.



49. ábra: Fajlagos költségek változása drága beton esetén

A fenti ábra agyagon épült szerkezetekre vonatkozik. Érdekes összevetni ezt az ábrát a 47. ábrával. Látható, hogy amíg az előző esetben (a részűs megoldásokat nem számítva) a súlytámfal egészen 9 méterig gazdaságos volt, most csak 4-7,5 méterig őrzi meg ezt az előnyét. Bár a tendenciák sokat nem változtak az árnövekedés hatására, nominálisan nagyot nőttek a különbségek a betontól függő és nem függő szerkezetek között.

Utolsóként egy olyan példát szeretnék mutatni, amelynél a betonacél ára nő meg jelentősen, 240 Ft/kg-ról 340 Ft/kg-ra, iszap talaj esetén. Az 50. ábrán látható, hogy a tendenciák itt sem változtak meg gyökeresen, ellentétben a 48. ábrával, de a vasbeton szerkezetek kb. 8-10%-kal megdrágultak. Érdekes megfigyelni, hogy a georácsos erősítés a korábbi 4,5 méter helyett, most már 6 méterig gazdaságosabb, mint a talajszegelés.



50. ábra: Fajlagos költségek változása drága betonacél esetén

Természetesen az érzékenység vizsgálatokat a végtelenségig lehetne folytatni, de úgy gondoltam, hogy ez a három példa jól bemutatja, hogy miért volt érdemes változtatható egységárrakkal megcsinálni a költséghatékonysági vizsgálatot.

7. Összefoglalás:

Kutatómunkám során célom volt, hogy hazai körülmények között előállítsam a bevágásban lévő földmegtámasztó szerkezetek fajlagos költség - magasság függvényeit, majd ezek alapján következtetéseket vonjak le azok gazdaságossági viszonyairól.

Célom elérése érdekében, először áttanulmányoztam az ide vonatkozó szakirodalmat, majd ezek alapján kiválasztottam nyolc különböző műszaki megoldást. Ezek után eldöntöttem, hogy az egyes szerkezeteket 3-12 méteres intervallumban vizsgálom, 3 méteres osztásközzel, három különböző magyarországi típustalajra.

Az optimális szerkezeti méret megtalálása érdekében számításokat végeztem az EC7 előírásainak megfelelően. Ennek során két egymástól eltérő számítási elven működő programmal (Geo5, Plaxis 9) határoztam meg a minimális keresztmetszeti méreteket (3 talajra, 4 magasságban, 8 műszaki változatra, 2 programmal, összesen 192 számítási végeredmény). A számítások során részben kitértem a két számítási módszer azonosságaira és különbségeire, valamint kielemeztem a jellemző törésképeket. Az így kapott méretekből számítani lehetett azokat a munkaigényeket, amelyek a szerkezetek megépítéséhez szükségesek voltak.

A szerkezetek költségei minden esetben a földmunka, az elfoglalt terület, és az építési költségek árából tevődött össze. Az egyes egységárakat, az iparban jelenleg is tevékenykedő, a mostani árakkal tisztában levő mérnökök biztosították számomra. A számított munkaigények és az egységárak segítségével meg lehetett állapítani a szerkezetek előállításának költségét, majd ezt a magassággal normálva megkaptam a négyzetméterre vonatkozó fajlagos költségeket.

Ezek után a három különböző talajtípusra három külön diagramon ábrázoltam az egyes szerkezetek fajlagos költségeit a magasság függvényében. Ennek során megállapítható volt, hogy egy zöldmezős beruházás esetében mindhárom talajtípusra a rézsű a leggazdaságosabb megoldás. Amennyiben a terület ára megnő, az erősített szerkezetek kerülnek előtérbe. Ha az építés során terület felhasználási korlát áll fent, akkor átmeneti illetve kötött talajoknál 7,5-9 méter alatt meglepő módon a hagyományos súlytámfal, afölött pedig a hibrid fal a legkedvezőbb megoldás. Homok esetében 4 méter alatt a súlytámfalak, 4 és 6 méter között befogott, a fölött pedig a horgonyzott résfal az optimális. A szerkezetek költség összetevőinek vizsgálata során megállapítottam még az egyes költségek jellemző részarányát. Végül három példán bemutattam munkám egyik legnagyobb előnyét, miszerint az egyes egységárak paraméteresen változtathatóak, ezáltal mindig naprakész eredményeket kaphatunk, és az esetleges árváltozásokat dinamikusán le lehet követni.

8.Jövőbeni kutatás:

A jövőben kutatásom témája első sorban a töltésben készült földmegtámasztó szerkezetek vizsgálatára fog irányulni. Jelenlegi kutatásomban is megállapítottam, hogy egészen más szerkezetek lesznek töltésépítésénél gazdaságosak, mint bevágásnál. A töltések vizsgálata során várhatóan beigazolható, ami a külföldi szakirodalomból várható, miszerint a különböző erősített talajtámfalak a leggazdaságosabb szerkezetek közé tartoznak.

További kutatási irány lehet, ha kiterjesztjük a vizsgált tartományt 3 méter alá, illetve 12 méter fölé. Érdekes kutatási téma lehet a hibrid falak további vizsgálata. Ezen szerkezetek vizsgálata során említettem, hogy a költségeik domináns összetevője a gabion ára volt, ezért ennek kicserélése jelentős árkülönbséget tudna okozni. Meg lehetne vizsgálni továbbá a fa illetve előregyártott beton elemes máglyafalakat. Kutatásom során egyáltalán nem számoltam talajvízzel. A talajvíz hatásával számolni szintén egy külön kutatási terület lehet, hiszen ez jelentősen tudná befolyásolni a kapott eredményeket.

9. Köszönetnyilvánítás:

Szeretnék köszönetet mondani Dr. Szendefy Jánosnak munkám során nyújtott segítségért, szakmai tanácsaiért és biztatásért. Köszönet illeti továbbá Vallyon Istvánt, Vasics Balázst és Csitos Balázst az egységárok meghatározásában nyújtott segítségükért.

10.Felhasznált irodalom:

California Department of Transportation (2004) Division of Research and Innovation
„Annual accomplishment report” online:

http://www.dot.ca.gov/newtech/dri_annual_accomplishments/

Czap, Z. (2011a), Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Geotechnika c.
tárgy, Nyírószilárdság c. előadás jegyzet, online:

<http://www.gtt.bme.hu/gtt/oktatas/feltoltesek/BMEEOGTASC1/nyiroszilardsag.pdf>

Czap, Z. (2011b), Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Geotechnika c.
tárgy, Földmegtámasztó szerkezetek c. előadás, online:

<http://www.gtt.bme.hu/gtt/oktatas/feltoltesek/BMEEOGTASC1/foldmegtamaszto.pdf>

Csitos B. (2012), Leveller Építőipari Kft., Szóbeli közlés

Duncan, Chang (1970), A talajok viselkedése deviatorikus feszültség hatására

Dywidag (2012), talajhorgony katalógus, online:

http://www.dywidag-systems.com/uploads/media/DYWIDAG-Paszma-talajhorgony_hu_01.pdf

Hegedűs I. (2011), Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Mélyépítési
vasbetonszerkezetek c. tárgy, Bevezető előadás, Online:

<http://www.hsz.bme.hu/hsz/oktatas/feltoltesek/BMEEOHSASC3/mutargyak.doc>

Kahn A. J., Sikder M., (2004), „Design basis and economic aspects of different types of retaining walls”, Journal of Civil Engineering (IEB), 32 (1) (2004) p. 17-34

Koerner J., Soong T-Y., Koerner R. M., (1998) „Retaining Wall Cost in the USA” , 20.
számú GRI jelentés, Geosynthetic Institute, Folsom, Penna., 1998, p38

Koloski W. J., Schwarz S. D., Tubbs D. W. (1989) „Geotechnical Properties of Geologic Materials, Engineering Geology in Washington, 1. kötet, Washington Division of Geology and Earth Resources Bulletin 78. szám, (1989)

Meszlényi, Zs. (2010) Talajhorgonyok c. előadás, online:

http://www.gtt.bme.hu/gtt/oktatas/feltoltesek/BMEEOGTMST8/4_talajhorgonyzas.ppt

Minnesota Department of Transportation (2012) „Training Modul for Designing and Constructing with Geosynthetics”, előadás jegyzet, online:

<http://www.lrrb.org/pdf/pp07geo.pdf>

Móczár B. (2012), Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Talaj és szerkezet kölcsönhatása c. tárgy, Eurocode 7 c. előadás jegyzet, online:

http://www.gtt.bme.hu/gtt/oktatas/feltoltesek/BMEEOGTMST8/2_eurocode7.ppt

Szendefy, J. (2012a), Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Earthworks c. tárgy, Retaining structures 1 c. előadás jegyzet, online:

http://www.gtt.bme.hu/gtt/oktatas/feltoltesek/BMEEOGTAT14/ew_3.pdf

Szendefy, J. (2012b), Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Earthworks c. tárgy, Retaining structures 2 c. előadás jegyzet, online:

http://www.gtt.bme.hu/gtt/oktatas/feltoltesek/BMEEOGTAT14/ew_4.pdf

Szepesházi, R. (2007) „Mély munkagödrök mentén bekövetkező mozgások” Miskolci Egyetem PhD kutatósze minárium, Miskolc (2007)

Szepesházi, R. (2008) „Geotechnikai tervezés”, DPD Kft., Budapest (2008)

Szepesházi, R., Benák, F., Boromisza T., Farkas J., Lazányi I., Pozsár L. Scharle P., Szilváygi L., Tárczy L., Varga L. (2006), „Utak és autópályák létesítésének általános geotechnikai szabályai”, Magyar Útúgyi Társaság

Szepesházi, R., Bornomissza T., Szirbek Zs. (2003) „Geoműanyagok úté pítési alkalmazásainak tervezése” 1. kötet. Onile:

www.sze.hu/~szepesr/anyagok/kutatas+fejlesztes/geomuanyagok.pdf

Tiszacash (2012), online: <http://tiszacash.hu/index.php?&nod=9033>

Telekexpressz (2012), Online <http://telekexpressz.hu>

Tennessee Department of Transportation (2012), Earth Retaining Structures Manual online: www.tdot.state.tn.us/materials/geotech/docs/RetainMan.pdf

Vallyon, I. (2012), Szóbeli közlés

Vasics B. (2012), Gradex Kft. Szóbeli közlés