



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Építőmérnöki Kar
Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék

Vízátteresztő burkolatok vízátteresztő képesség változásának vizsgálata terepi mérésekkel

Strausz Tímea

Infrastruktúra építőmérnök, Msc szakos hallgató

Témavezető:

Varga Laura

Doktorjelölt, Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék

Konzulensek:

Ács Tamás

Tudományos segédmunkatárs, Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék

Decsi Bence

Doktorjelölt, Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék

Tudományos Diákköri Konferencia

Budapest, 2021

Absztrakt

A vízáteresztő burkolatok és pályaszerkezetek a kék-zöld infrastruktúra megoldások közé tartoznak, melyek a város vízgyűjtőjére hulló csapadékvizek visszatartását, tározását, párologtatását és talajba szivárgását segítik elő. Világszerte és Magyarországon is egyre gyakrabban alkalmazzák városi közlekedési felületek burkolataként, ezzel elősegítve a csapadékvízzel való gazdálkodást és a mikroklíma javítását.

A vízáteresztő burkolatok egyik legfontosabb tulajdonsága a felszíni réteg vízáteresztő képessége. A vízgyűjtőkről lefolyó finomszemcsés szennyezőanyagok következtében rendszeres tisztítás nélkül a burkolatok eltömődnek, ezért fontos, hogy rendszeres mérésekkel nyomon kövessük az időbeli változásokat.

A dolgozat célkitűzése, hogy felmérje a Magyarországon korábban telepített vízáteresztő burkolatok vízáteresztő képességének jelenlegi állapotát, és elemezze az eltömődés sebességét az egyes területeken. A vizsgálat helyszínéül Budapestet választottuk. A fővárosban műgyantával stabilizált szórt kavics burkolatok és öntött gumi burkolatok formájában találkozhatunk ezen burkolat típusokkal, szabad terek járda felületeit, játszóterek burkolatát, illetve favermek borítását alkotva.

A kutatás során 18 budapesti helyszínen végeztem felszíni beszivárgás tesztek 2020 és 2021 között. A dolgozatban a 2020-ban végzett mérések eredményeit vetem össze az új mérésekkel, ezáltal képet kapva arról, hogy a burkolatok felszíni vízáteresztő képessége hogyan változik hosszabb időtávon.

A 2021-es mérések során a korábbi mérési helyszíneken ugyanazon mérési pontokon végeztem méréseket. Valamint további mérési pontok is kijelölésre kerültek, annak érdekében, hogy képet kaphassunk a burkolat vízáteresztő képességének térbeli változékonyságáról egy helyszínen belül. A vizsgált helyszíneken belül kisebb-nagyobb változékonyságot tapasztaltunk, amely rámutat a több alkalommal történő méréseknek a szükségletére a burkolatok rendszeres állapotfelmérése során.

A mérések során szimpla gyűrűs infiltrációs tesztet alkalmaztam, azonban ennek hátránya, hogy az oldalirányú elszivárgás miatt a függőleges vízáteresztő képességi együttható felülbecslésével járhat. Annak érdekében, hogy képet kaphassunk arról, hogy a vizsgált burkolat típusok estében, érvényesül-e ilyen hatás a Bikás park, Kalóztenger játszótér helyszínen méréseket végeztünk szimpla- és dupla gyűrűs infiltróméterrel egyaránt. Nem találtunk egyértelmű különbséget az egy- és kétgyűrűs módszerrel mért vízáteresztő képességi együttható között. Az azonos módszerekkel végzett ismételt vizsgálatok során több bizonytalanságot okozó

folyamatot és hatótényezőt is észleltünk, mint: eltömődés, kimosódás, oldalirányú elszivárgás, térbeli heterogenitás stb. Az eredmények kiértékelését követően arra a következtetésre jutottunk, hogy az egyes folyamatokat laboratóriumi körülmények közt lenne érdemes megvizsgálni, ahol a bizonytalanságokat kontrollálni tudjuk.

Abstract

Permeable pavements are among the low impact development (LID) or green infrastructure (GI) techniques that aim to imitate natural hydrological processes of catchments. Instead of fast conveyance of rainfall, these practices support infiltration, storage, and evaporation of stormwater.

One of the most important characteristics of permeable pavements is their permeability. Porous pavements are prone to clogging as a consequence of sediment content in runoff water, thus it is essential to monitor changes over time with regular measurements.

This study is the outcome of the continuation of my previous research in which I assessed the permeability of resin bound gravel and crumb rubber permeable surfaces at 18 sites in Budapest, Hungary. In-situ single ring infiltration tests were performed at the same locations and points as in 2020 in order to assess the one-year reduction in their permeability and to validate the relationships derived in my 2020 research between the age and permeability of the surfaces. Measurements were conducted at additional points in most locations as well to get a better picture about the spatial variability in permeability within some hundred to some thousand m² of permeable surfaces. The bias in measured vertical coefficient of permeability due to the horizontal component of seepage beneath the single ring infiltrometer was investigated by comparing the single ring method with the double ring method at the Bikás square, 'Kalóztenger' playground location.

Based on the measurements in 2021, the previously derived age-permeability functions were validated. Minor to significant spatial variability in permeability were found at the assessed locations, which highlights the necessity of multiple measurements in case of regular status assessment of surfaces. No clear differences between the coefficient of permeability measured by single and double ring method were found. However, the repeated tests with the same methods resulted in some unexpected and contradictory differences in measured infiltration capacity. The results suggest that several processes are in progress simultaneously. It was concluded that the role and importance of the processes should be examined in more controlled conditions.

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés.....	8
2	Célkitűzés.....	11
3	Irodalmi áttekintés.....	12
3.1	Az eltömődés folyamatának jellemzői porózus beton és beton térkő burkolatok esetében [34] [19].....	12
3.2	A szivárgási sebesség változása a vízáteresztő burkolatok életkorának függvényében [24]	13
3.3	Vízáteresztő burkolatok vízáteresztő képességére vonatkozó nemzetközi előírások	14
4	Vízáteresztő burkolatok általános bemutatása	16
4.1	Burkolatok típusai	17
4.2	Vízáteresztő útpályaszerkezet kialakítása	20
4.3	A vízáteresztő burkolatok alkalmazásának feltételei	21
4.4	Vízáteresztő útpályaszerkezetek csoportosítása a csapadékvíz elvezetés módja szerint	22
4.5	Alkalmazásuk és fenntartásuk [1] [23] [40]	23
5	Anyag és módszer	25
5.1	Mérési helyszínek.....	26
5.2	A mérés célja, módja és eszközei.....	28
5.3	A mért helyszínek burkolata.....	29
5.4	A mérési pontok kiválasztása és a mérés körülményei	30
5.5	A szimpla gyűrűs mérés folyamata	31
5.6	Dupla gyűrűs mérés folyamata.....	33
5.7	Mérési eredmények kiértékelése	35
5.8	Burkolat kora és vízáteresztő képességi együtthatója közötti kapcsolat vizsgálata ...	36
6	Eredmények és értékelésük	37
6.1	Illesztett görbék változásának a vizsgálata öntött gumi és szórt kavics burkolatok esetében.....	37

6.2	A vízáteresztő képesség egy helyszínen belüli területi változékonyságának értékelése	42
6.3	Szimpla és dupla gyűrűs mérési módszer összehasonlítása	44
6.4	Az egyes mérési pontok eredményeinek értékelése	46
7	Összegzés és további kutatási irányok	48
	Köszönet nyilvánítás	50
	Felhasznált források.....	51
	Mellékletek	55

Ábrajegyzék

1. ábra	A beszivárgási sebesség a burkolatok életkorának függvényében ábrázolva porózus beton burkolat (PC), beton térkő (PICP) és porózus aszfalt esetén [24]	13
2. ábra	Példa egy vízáteresztő rétegrend felépítésére térkő burkolattal [46].....	20
3. ábra	Burkolatok csoportosítása a csapadékvíz elvezetés módja szerint: (a) teljesen elszivárogtató, (b) nem elszivárogtató, (c) részben elszivárogtató [32]	23
4. ábra	Karbantartási gyakorlatok: M1 – Nagynyomású kézimosó és kézi szívóberendezés; M2 – Lombfúvó és kézi seprű; M3 – Porszívós utcaseprő; M4 – A térkövek fugázó anyagának kézi eltávolítása; M5 – Magasnyomású mosó és egyidejű szívóberendezés; M6 – Sűrített levegő fúvó és szívóberendezés [23].....	24
5. ábra	A beszivárgás sebességének időbeli változása a Horton-egyenlet alapján.....	25
6. ábra	Mérési helyszínek	26
7. ábra	A szimpla- és dupla gyűrűs mérések pontjait bemutató térkép részlet.....	28
8. ábra	A TerraWay, szórt kavics burkolatok általános rétegfelépítése [38].....	30
9. ábra	Mérőeszközök és a mérés folyamata szimpla gyűrűs mérési módszer esetében.....	33
10. ábra	A dupla gyűrűs infiltrométer és a mérési folyamat szimpla- és dupla gyűrűs mérések esetében	35
11. ábra	A burkolatok felszínének időbeli eltömődését leíró görbe, a szennyezésnek jobban, illetve kevésbé kitett mérési pontok alapján elkülönítve, öntött gumi burkolatok esetében a) 2020-as és 2021-es mérési eredmények alapján b) csak a 2020-as mérési eredmények alapján	39

12. ábra A burkolatok felszínének időbeli eltömődését leíró görbe, a szennyezésnek kevésbé kitett szórt kavicsburkolatok mérési pontjainak esetében a) 2020-as és 2021-es mérési eredmények alapján b) csak a 2020-as mérési eredmények alapján	41
13. ábra A 2021-ben végzett mérések minimum, maximum és átlag értékei helyszínenként ábrázolva, az átlagos vízáteresztő-képességi együtthatók szerint sorba rendezve	43
14. ábra A szimpla- és dupla gyűrűvel végzett mérési sorozatok eredményei, különböző színnel ábrázolva a négy mérési pontot, kör alakú jelölő jelzi a szimpla gyűrűvel elvégzett méréseket, háromszög alakú jelölő jelzi a dupla gyűrűvel elvégzett méréseket.....	44
15. ábra a) Az egyes mérési pontokon végzett 1. és 2. számú mérések egymáshoz képest való eltérése b) A mérések eltérésének gyakorisága	47

Táblázatjegyzék

1. Táblázat Mérési helyszínek összefoglaló táblázata	27
2. Táblázat A méréshez szükséges víz térfogata [liter] [32].....	32
3. Táblázat A szimpla és dupla gyűrűs mérések összehasonlítása során az egyes mérési pontokban végrehajtott mérések száma	34

1 Bevezetés

A dolgozatom a 2020-ban bemutatott: „Vízáteresztő burkolatok vízáteresztő képesség változásának vizsgálata” című korábbi TDK tanulmányomnak a folytatása, amelyben a műgyantával stabilizált szórt kavics-, valamint öntött gumi vízáteresztő burkolatok vízáteresztő képességét és annak időbeli változását, valamint a köztük lévő összefüggést vizsgáltam. A dolgozatomnak bizonyos részei ezért megegyeznek a korábbiakban leírtakkal, melyre azért volt szükség, hogy jelen tanulmány önmagában is érthetővé váljon.

Visszatekintve az elmúlt pár évtizedre azt tapasztalhatjuk, hogy a népességszám világszerte ugrásszerűen megnövekedett, ez pedig magával hozta a városlakók számának növekedését is. Jelenleg a világ lakosságának közel fele városokban lakik, amely arány a következő évtizedekben várhatóan növekedni fog [43]. A városok megnövekedett lakossága magával hozta a városi területek növekedését is, amely együtt jár a burkolt felületek arányának a gyarapodásával. Ez pedig számos problémát hozott magával, többek közt a városok vízkörforgásának az átalakulását. A lehulló csapadékvíznek a nagyrésze lefolyásra kerül, csak kevés része képes a talajba beszivárogni vagy elpárologni. Ezzel szemben a természetes vízkörforgás során a lehulló csapadék jelentős része elpárolog és/vagy beszivárog a talajba, valamint kisebb hányadban lefolyásra kerül.[44]

Ez előbbire nem csak társadalmunk, hanem környezetünk változásai is hatással vannak. A klímaváltozás során hazánkban is gyakoribbá váltak a szélsőséges időjárási jelenségek, úgymint a nyári aszályok és hőség hullámok, valamint a csapadékos időszakok megrövidültek, azonban az extrém nagyintenzitású csapadékok száma növekvő tendenciát mutat.[16] Az özönvízszerűen lehulló csapadékesemények a városi vízvezető rendszerek túlterhelésével azok kiöntéséhez vezethetnek.

A hagyományos (klasszikus) csapadékvíz-elvezetési gyakorlat a város területére lehulló csapadékvizet a lehető legrövidebb idő alatt összegyűjtötte és egy közeli befogadóba vezette azt. A csapadékvíz elvezetése többnyire egyesített vagy elválasztott rendszerű csatornákon keresztül történt, azonban ezek a rendszerek a megnövekedett csapadék lefolyás hatására sokszor váltak túlterheltté mennyiségi és minőségi értelemben is. Egy-egy nagyobb csapadékesemény során az egyesített csatornákon keresztül csapadékvízzel kevert hígult szennyvíz jut a befogadóba, amely amellet, hogy a vízminőséget rontja, a megnövekedett vízhozamnak a hatására part- és medereróziót is okozhat. A természetes hidrológiai körfolyamat módosulása emellett még számos ponton érinti a városi vízgazdálkodást. A csökkent beszivárgásnak hatására a talajvíz utánpótlása jelentősen megcsappant, ennek hatására

a városi növényzet öntözésre szorulhat, melyet leginkább az ivóvízhálózatról oldanak meg jelenleg. A párologás csökkenése pedig a helyi mikroklíma romlását vonta magával, ezeken a területeken az átlaghőmérséklet magasabb, melynek következtében kialakulhatnak ún. városi hőszigetek. [44]

A klímaváltozásnak a hatására a csapadékesemények intenzitása várhatóan növekedni fog, valamint a gyakoriságukat nem tudjuk előre megjósolni, de meg kell kísérelnünk felkészülni ezekre az eseményekre, hogy a káresemények gyakoriságát és mértékét csökkenteni tudjuk. Ehhez pedig szemléletváltásra van szükség a városi tervezés során. A csapadékvíz-elvezetés helyett a csapadékvízzel való gazdálkodásnak a szemléletét kell előnyben részesíteni.

A csapadékvízzel való gazdálkodás során megpróbáljuk a víz természetes körforgását elősegíteni a város vízgyűjtőjére hulló csapadékvizek visszatartásával, tározásával, párologtatásával és talajba szivárgásának elősegítésével. Ezek az ún. zöld megoldások, melynek az alkalmazásával csökkenthetjük a csatornahálózatba jutó vízmennyiséget, ezáltal a rendszer túlterheltségét, mellyel az elöntések valószínűsége is mérséklődik, továbbá a szennyvíztisztítók túlterhelésének veszélye is. A lefolyásnak a lassításával a víznek a minősége is javítható, amely a zöld felületek szennyezőanyag eltávolító képességének köszönhető. A zöld megoldásoknak az alkalmazásával a talajba szivárgó víznek a mennyisége növekedhet, valamint a helyi mikroklíma is javulhat, a városnak a látképe pedig szebbé válhat. [45]

Azonban a hagyományos csapadékvíz-elvezetés módszerei és csapadékvíz-gazdálkodás során alkalmazott zöld megoldások nem különíthetők el egymástól, mert a már meglévő rendszerek hatással lesznek az újakra, és fordítva. A kettőnek az együttes és jól átgondolt használatára, egymással való jól kiegészítésre van szükség az ún. kék-zöld infrastruktúra alkalmazására. [6] (Kék infrastruktúrának nevezzük az ivóvíz, csatorna és csapadékvíz-elvezető hálózat, valamint a felszíni és földalatti víztestek összességét. [8])

A kék-zöld infrastruktúra a települési zöldfelületek és az ezekbe ágyazódó vízfelületek közös rendszerét jelenti. A kék-zöld infrastruktúra egyes módszerei a természetes vízkörforgást követik, fő feladatuk a csapadékvíznek a szikkasztása, tározása, elpárologtatása és a tisztítása. A területre lehulló csapadék azonnali visszatartásában azonban a szikkasztásnak és a tározásnak van a legjelentősebb szerepe. Fontos kérdés azonban, hogy maga a terület a csapadékvíz beszivárogtatásra alkalmas legyen, ennek lehetőségét minden helyszínen egyedileg vizsgálni kell.

A beszivárogtatás eszközei lehetnek különböző burkolt- és nem burkolt felületek egyaránt. Nem burkolt felületek lehetnek természetes terepmélyedések vagy mesterségesek kialakított zöld felületek, ilyen megoldások közé sorolhatóak egyszerű gyepfelületek, nyílt beszivárogtató

árkok, bioszűrő vápák, esőkertek stb. Ezeken a területeken a víz tározódhat addig, amíg be nem szivárog az altalajba vagy vissza nem párolog a légkörbe. A burkolt felületeket pedig a vízáteresztő burkolatok alkotják, melyeknél a használat megköveteli a szilárd felsőréteg meglétét, de a kialakításuknak köszönhetően képesek átszivároztatni az alsóbb rétegeikbe a csapadékvizet, majd pedig a talajba. Kifejezetten ott lehet jelentős szerepük a városon belül, ahol az egyéb zöld megoldások nagyobb helyigényük miatt nem alkalmazhatóak, nem illeszthetőek be megfelelően a városi környezetbe, vagy alkalmazásukkal a felületek használatát korlátozni kellene.

Ezen burkolattípusok egyik legfontosabb tulajdonsága a felszíni réteg vízáteresztő képessége, amely minimális értékének meghatározása vízépítőmérnöki feladat.[32] Ez fogja biztosítani azt, hogy a burkolat képes legyen a tervezésnél mértékadó csapadékból keletkező ráfolyás elvezetésére. Azonban a burkolatoknak a vízáteresztő képessége a felszínük rendszeres tisztítása nélkül jelentősen csökkenhet, akár már a beépítést követő pár éven belül. Ennek a jelenségnek az oka pedig a burkolatok hézagrendszerének az eltömődése, amely a burkolatot érő finomszemcsés szennyezőanyagok hatására következik be. Ezt a jelenséget a burkolatok tervezésénél mindenféleképpen figyelembe kell venni. Ahhoz, hogy ezt megtehessük pedig fontos, hogy rendszeres mérésekkel nyomon kövessük ezeknek a folyamatoknak az időbeli változását.

Világszerte, valamint Magyarországon is egyre gyakrabban alkalmazzák a vízáteresztő burkolattípusokat a városi közlekedési felületek burkolataként. Míg külföldön számos példát találunk porózus aszfalt, porózus beton és kiselemes (térkő) burkolatok beépítésére, addig hazánkban ezen burkolattípusoknak az alkalmazása még kevésbe terjedt el. Azonban két másik típusra, a műgyantával stabilizált szórt és öntött gumi burkolatokra már számos helyen találhatunk példát beépítésre.

2 Célkitűzés

Budapesten a vízáteresztő burkolatokkal műgyantával stabilizált szórt kavics és az öntött gumi burkolatok formájában találkozhatunk szabad terek járda felületeiként, játszóterek és csillapító burkolataként, valamint favermek borításaként. A vizsgálat helyszínéül ezek a helyszínek szolgáltak a városon belül. A dolgozat célkitűzése pedig az volt, hogy ezen korábban telepített vízáteresztő burkolatok vízáteresztő képességének aktuális állapotát felmérje és elemezze az eltömődésnek a sebességét az egyes területeken.

A kutatás keretében 18 fővárosi helyszínen végeztünk felszíni beszivárgási tesztek 2020 és 2021 közt. A dolgozatban a 2020-ban végzett mérések eredményeit vetem össze az új 2021-es mérési eredményekkel. Ezáltal képet kaphatunk arról, hogy a burkolatok felszíni vízáteresztőképessége hogyan változott egy évnél az elteltével.

Továbbá megvizsgálom a kérdését annak, hogy a szimpla gyűrűs mérési módszer milyen nagyságrendű hibát eredményez a vízáteresztő képességi együttható becslésében a duplagyűrűs mérési módszerhez képest.

3 Irodalmi áttekintés

A vízáteresztő burkolatok felszíni vízáteresztő képességét, valamint az eltömődés folyamatát több országban is vizsgálták. Számos kutatás foglalkozik a porózus beton, porózus aszfalt, valamint a betontérkő burkolatok vízáteresztőképességének a vizsgálatával. Az alábbiakban néhány fontosabb kutatás eredményei alapján foglalom össze a vízáteresztő burkolatok és az eltömődési folyamatuknak a jellemzőit.

3.1 Az eltömődés folyamatának jellemzői porózus beton és beton térkő burkolatok esetében [34] [19]

A vízáteresztő burkolatok eltömődése az őket érő különböző szennyező források hatására történik, melyek származhatnak azoknak a közvetlen vagy közvetett környezetéből is. A szennyezőanyagok ráhordása történhet emberi, valamint természetes hatások következtében is, úgymint szél vagy csapadékvíz által történő transzport során.

Labor vizsgálatok során kimutatták, hogy a pórusok eltömődésének folyamata általában három szakaszra bontható: a gyors eltömődés, az eltömődés átmeneti enyhülési fázisa és a progresszív eltömődés. [34]

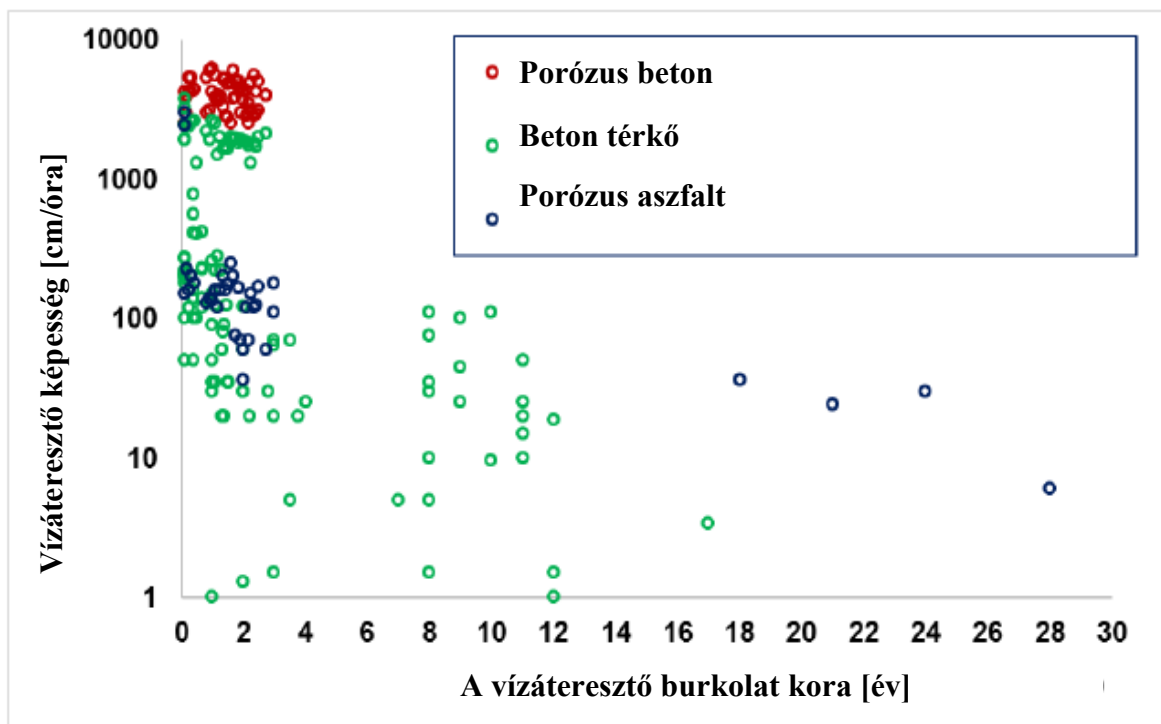
A burkolat anyagának porozitása, a csapadékvíz mennyisége, valamint a szennyezőanyag szemcsemérete mind hatással lehetnek az eltömődésnek a folyamatára. A nagyobb porozitással rendelkező burkolatok könnyebben eltömődhetnek, ugyanis a nagyobb pórusméreteknek köszönhetően a mintán belül a víz szivárgási sebessége megnövekszik, ezáltal több szennyezőanyag részecske tud bemosódni a pórusok közé. A burkolatok felszínén kialakuló vízborítottság esetén a magasabb vízszint hatására nagyobb beszivárgási sebesség alakul ki, amely több részecskét képes bemosni a pórusok közé. Ha a burkolatot durvább szemcséjű szennyezőanyag terhelés éri az eltömődés akár kisebb mértékű is lehet. Ennek oka, hogy a durvább részecskék a felsőbb pórusokban már elakadnak és nehezebben jutnak be a minta alsóbb rétegeibe. Azonban egyes szemcseátmérőjű szennyezőanyag esetében előfordulhat, hogy az eltömődés mértéke növekedni fog, mert a durvább szemcsék eltömítik a burkolat felső pórusait, a finomabb szemcsék pedig kitöltik a többit, ezáltal a vízáteresztő képesség értéke csökkeni fog. [34] A fizikai folyamat attól függően változik, hogy először kicsi vagy nagy szemcseméretű részecskék haladnak át a rendszeren. [19]

Az előbbieken leírt folyamatokból következik, hogy a burkolatok egyfajta szennyezőanyag visszatartó képességgel is rendelkeznek. A szemcsemérettől és a burkolaton rétegen való áthaladás méretbeli áthaladási sorrendjétől függően ez a szennyezőanyag visszatartó hatás a burkolatra bocsátott szennyezőanyagnak akár a 74-94%-a is lehet. [19]

3.2 A szivárgási sebesség változása a vízáteresztő burkolatok életkorának függvényében [24]

Az 1. számú ábrán egy összefoglaló tanulmánynak az eredményei láthatóak, melyek a beszivárgási sebesség értékeit mutatják be a porózus beton (PC), a beton térkő (PICP) és a porózus aszfalt (PA) burkolatok esetében.

Az 1. számú ábrán azt mondhatjuk, hogy a legnagyobb szivárgási sebességet a porózus beton (PC) esetében mérték, majd ezt követi a beton térkő burkolat (PICP) és a porózus aszfalt (PA). Az eredmények alapján továbbá az is megállapítható, hogy a burkolatok vízáteresztő képessége a lerakástól számított második évben általában már jelentősen lecsökkent, a negyedik évben pedig mindhárom burkolat típusnál 1000 mm/óránál kisebbet mértek. Ennek oka feltehetően a burkolatok karbantartásának elmaradásában keresendő.



1. ábra A beszivárgási sebesség a burkolatok életkorának függvényében ábrázolva porózus beton burkolat (PC), beton térkő (PICP) és porózus aszfalt esetén [24]

3.3 Vízáteresztő burkolatok vízáteresztő képességére vonatkozó nemzetközi előírások

A vízáteresztő burkolatok szivárogtató képességét kétféle módon szokták jellemezni. Az egyik a felszíni beszivárogtató képesség, amely a nagyintenzitású (mértékadó) csapadék eseménynél fontos. A másik a minimális, telített állapothoz tartozó szivárogtató képesség, amely az altalajt jellemzi, és a tározóréteg leürülése miatt jelentős.

A vízáteresztő térkőburkolatok esetén a fugázó anyagok szivárgási tényezője általában 10^5 mm/óra nagyságrendű [11][15], a teljes burkolt felület szivárogtató képessége ennél általában jóval kisebb. Azonban ez az érték szinte minden esetben meghaladja a mértékadónak tekinthető csapadékinintenzitást [3]. Bean munkatársaival 11 különböző korú térkővel burkolt felszín vízáteresztő képességét vizsgálta [4], a mért értékek 20 mm/óra és 40000 mm/óra között változtak.

A felszíni beszivárgás mértéke akár néhány év elteltével a használat, és a nem megfelelő fenntartás esetén is jelentősen csökkenhet a kolmatáció (a burkolatok hézagrendszerének eltömődése) miatt. A csökkenés mértéke akár a 70-90 %-ot is elérheti [3] [3], ezután viszont csaknem konstansnak tekinthető [5]. Bean munkatársaival lényegesen kisebb beszivárgási értékeket mért az olyan területeken, amelynek a közelében finom szemcsés talajú burkolatlan felületek voltak [4]. Az áteresztő képesség javításának érdekében a fugázó anyag felső rétegének rendszeres cseréjével sokat tehetünk. Téli időszakban a burkolat teljesítőképességét nagyban csökkentheti a hó- és jégmentesítéshez használt homok, ezért ennek használatát nem javasolják [3] [25].

A burkolatok minimális szivárogtató képességre vonatkozóan számos ország alkalmaz már előírást. Belgiumban a felszín (valamint a többi szerkezeti réteg) minimális vízáteresztő képességét a mértékadó csapadékinintenzitásból határozzák meg, oly módon, hogy az idővel való eltömődés miatt $\gamma=2$ biztonsági tényezőt használnak [10]. Az USA-ban is találhatunk a szivárogtató képesség minimális értékére vonatkozó előírásokat, például Wisconsinban az új burkolatokra 2500 mm/órát írnak elő, amely a későbbiekben nem csökkenhet 250 mm/óra alá, ennek bizonyításához a tervezőktől pedig modell számításokat várnak el [33]. J. Faleyieux Franciaországban a racionális módszert javasolja a mértékadó terhelés meghatározásához, és ennek az értéknek a tízszeresét írják elő, mint szükséges beszivárgási értéket [19]. Németországban az előírások szerint 194 mm/óra a beépítés utáni minimális érték, és az tartós használat esetén nem csökkenhet 97 mm/óra alá. A belga és német szabály esetében kétszeres, az amerikai és francia szabványban tízszeres a még elfogadható csökkenés a burkolatok

vízáteresztő képességében. A kolmatáció hatásait számba véve [22], a német szabvány felülvizsgálatát javasolják, melyet 600 mm/óra-ra módosítana a 194 mm/óra helyett [15].

4 Vízáteresztő burkolatok általános bemutatása

A vízáteresztő burkolatok olyan útburkolatok, amelyek nagymértékben képesek a vizet áttereszteni porózus felületüknek köszönhetően. Az, hogy egy adott burkolat és a hozzá kapcsolódó pályaszerkezet vízáteresztő-e, a megépítés és a kialakítás módjától függ. A beszivárgott csapadékvíznek szabadon kell tudnia áramolni a szemcsék közt, és minden esetben gondoskodni kell a beszivárgott víz elvezetéséről.

Az alábbiakban a vízáteresztő burkolatok jellemzőit, típusait, kialakítási lehetőségeit és az alkalmazási/fenntartási feltételeit mutatom be általánosan.

A vízáteresztő burkolat előnyei:

- A teljesen vagy részben (lásd: 4.3 alfejezet) vízáteresztő burkolatok segítik a természetes hidrológiai egyensúly helyreállítását és csökkentik a lefolyás mértékét azáltal, hogy felfogják és lassan a talajba szivárogtatják a csapadékot, ahelyett, hogy engednék a csatornába folyni azt. Ezáltal csökkentik a befogadók terheltségét és az elöntés veszélyét is.
- Alkalmazásukkal lehetővé válhat kisebb kapacitású vízvezető rendszer kiépítése is, néhol akár el is hagyható.
- A burkolaton át a talajba szivárgott víz segíti a talajvíz utánpótlását, valamint a beszivárgott vizet felvevő városi növényzet a párologtatással nagymértékben hűti a környezetét.
- Segítenek megóvni a befogadók természetes vizének tisztaságát azáltal, hogy bizonyos szennyezőanyagokat képesek visszatartani vagy eltávolítani.
- A városi zajok csökkentésében is szerepük lehet azáltal, hogy a szemcsék közti hézagok elnyelik a hangot.

Hátrányuk lehet:

- Vízáteresztő képességük idővel csökkenhet az eltömődés következtében, azonban megfelelő karbantartással ez kiküszöbölhető.
- Alkalmazásukat környezeti feltételek (pl. egyes talajtípusok, közeli építmények) és helyigényük korlátozhatja.
- Fagyásra és olvadásra érzékenyek lehetnek.

4.1 Burkolatok típusai

A típusokat tekintve léteznek öntött, szórt, elemes, valamint magas zöldfelülettel rendelkező burkolatok. Egyes típusoknál (például drénaszfaltnál) kimondott elvárás a nagy teherbírás, mert a közúti forgalmi követelményeinek is meg kell felelniük, míg másoknál, melyeket gyalogosforgalomra terveznek, a teherbírásra való követelmény sokkal kevésbé lényeges (például térköves járdafelület). A burkolatokat sokféleképpen lehetne még csoportosítani az egyes tulajdonságaik alapján. Az alábbiakban az alkalmazott burkolatanyag szerinti főbb csoportokat mutatom be részletesebben.

Öntött burkolatok

- **Drénaszfalt**

Nagymértékben hasonlít a hagyományos aszfaltra, a szemcseeloszlás kivételével, ugyanis a nagyon finom szemcséket kihagyják az összeállításakor, ezáltal igen nagy szabad hézagterfoga lesz. A nagy makró-érdességgel rendelkező burkolat jókora mennyiségű csapadékvíz elvezetésére képes saját rétegén belül, valamint zajelnyelő szereppel is rendelkezik. Az oldalra történő vízelvezetés miatt még esőben is szinte teljesen „száraz” tud maradni, ezáltal a csúszásveszély lecsökken az útpályán. Hazánkban alkalmazása nem terjedt el, mivel fenntartás-igényes, élettartama pedig viszonylag rövid, 7-10 év közt van.[1][5]

- **Drénbeton**

A drénbeton vagy porózus beton a drénaszfalhoz hasonló módon szemcse frakciók kihagyásával készül. A finom részecskék arányának csökkentésével vagy elhagyásával átlagosan 15-20 %-os porozitás érhető el. A burkolatnak egyszerre kell megfelelnie a szilárdsági és vízvezető képességi elvárásoknak. A két ellentmondásos tulajdonságnak a gyártás során is egyszerre kell megfelelnie, azonban a gyártására nincs egységes receptúra. Szintén rendelkezik zajcsökkentő tulajdonsággal a pórusai révén. Hazánkban nem terjedt el, inkább a nyugat-európai országokban van elterjedőben a használata. [1][30]

- **(Rekortán) gumi burkolat**

A helyszínen öntött gumiburkolat a beton felületekhez hasonlóan terítéssel készül. Hajlékony alaprétegen kiegyenlítő finomzúzalékra először fekete gumiőrleményből készült alátámasztó réteget terítenek, majd erre hordják fel a poliuretán kötésű EPDM (etilén-propilén-dién-monomer) burkolattípust elsősorban játszótereken, sportpályákon, futópályákon használják előszeretettel, nem csak a jó vízelvezető képessége miatt, hanem ütécscillapító szerepe révén is. A rekortán elnevezés eredetileg

egy márkanév volt, de mára már beépült a köztudatba, és úgymond köznevesült a kifejezés. [1][37][38]

Szórt burkolatok

- **Kötőanyaggal stabilizált szórt burkolat**

- **Műgyantás stabilizált burkolat:**

Poliuretán-műgyanta és kavics vagy kőzúzalék keverékéből áll. Egyre elterjedtebb a kötőanyaggal stabilizált burkolatok között. Gyakori alkalmazási területei a járdák, parki sétányok, kis forgalmú utak, kerékpárutak, járható tetők, tetőkertek, medencék környezete. A felülete szilárd és sima, többféle színárnyalata van. [1]

- **Organikus kötésű stabilizált burkolat:**

Kötőanyagként egy speciális növényi adalékanyagot használnak, amely természetes alapú. Száraz időben beton keménységű, nedves időben azonban kissé felpuhul. [1]

- **Hagyományos, stabilizált gyöngykavics burkolat:**

A klasszikus burkolat apró, gömbölyű folyami kavics, melyet homokkal kevert agyagos rétegbe hengerelnek. A stabilizált gyöngykavics annyiban különbözik, hogy a mixbe kvarc homokot és rostált agyagot kevernek. Gyakran alkalmazzák köztereken, parkokban, illetve régebben sok játszótér alapját szolgálta a burkolat típus. [1]

- **Kötőanyag nélkül stabilizált szórt burkolat**

Mint a nevében is mutatja kötőanyag nélkül stabilizált burkolatról van szó, mely a zúzottkő 0/4 frakcióméretei miatt tömörödik össze megfelelően. [1]

- **Kavics fix**

Zúzott kő vagy kavics ágyazat, amelyet méhsejt alakú műanyag (gyeprácshoz hasonló) cellákba szórnak. Ezek a cellák stabilizálják a szórt anyagot. [1]

Magas zöldfelületet biztosító burkolatok

- **Gyeprács**

Beton vagy műanyag rács, melynek sejtjeit humusszal töltik fel és gyeppel ültetik be azt. Gyakran alkalmazzák parkoló felületek kialakításánál. [1]

- **Stabilizált gyepburkolat**

Zúzott kő és humusz keverékéből előállított burkolat, melynek a tetejét fűmaggal vetik be. [1]

Elemes burkolatok

- **Termés- és térkő burkolatok**

Beton, terméskő vagy műkő anyagú burkolatok, melyek színe, formája, és mérete rendkívül változatos. A vízáteresztő képességük (amennyiben nem anyagukban vízáteresztők) a fuga mennyiségétől és hosszától függ. A térkővel burkolt felületekkel szemben általánosan megkövetelt, hogy a felület nagyságát tekintve legalább annak 10 %-án át kell tudjon folyni a csapadékvíznek. Ezt a 10 %-ot a térkövek közti hézagok biztosítják, melyek lehetnek akár ovális, vagy kör alakúak is. Speciális kialakítása lehet a porózus (anyagában vízáteresztő) térkő (drén térkő), amely szemkihagyásos szemeloszlással készül. Nagy porozitása lévén a csapadék a térköveken is képes átszivárogni, az elemek közti hézag pedig csak segíti a víz levezetését az alsóbb rétegekbe. [1]

- **Gyephézagos elemes térkő burkolat**

Az ilyen kialakítású burkolatoknál távtartó elemek növelik a fugák méretét, amiket vízáteresztő zúzottkő vagy humuszos - gyepes feltöltéssel látnak el. [1]

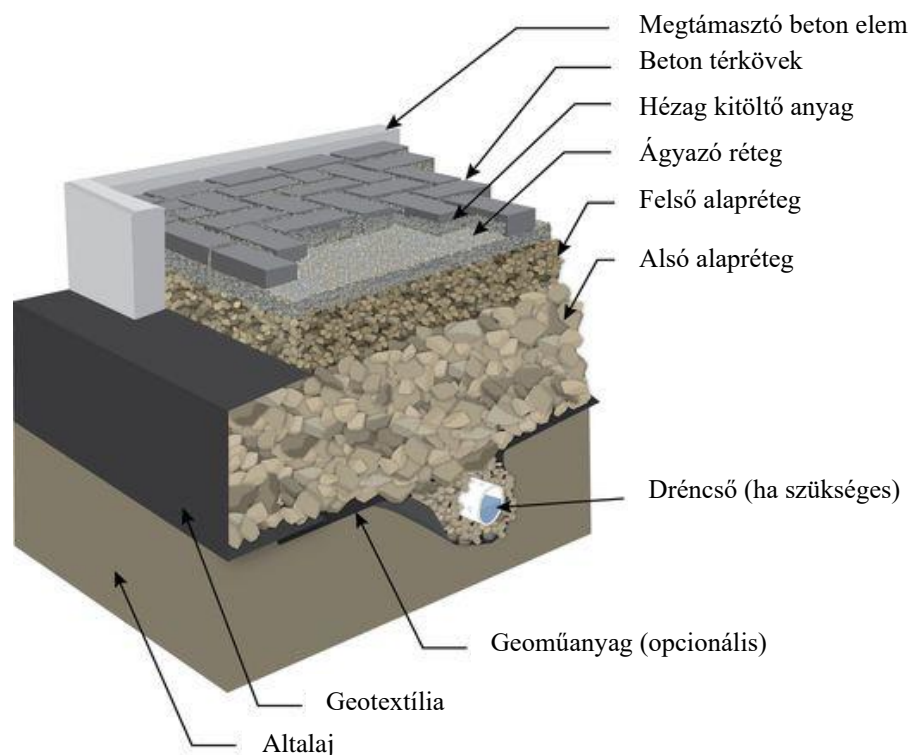
4.2 Vízáteresztő útpályaszerkezet kialakítása

A vízáteresztő burkolat kialakítása többféle anyagból is lehetséges. Ám bármelyikről is legyen szó, egy útpályaszerkezet csak akkor lesz vízáteresztő, hogyha mind az alépitmény, mind a felépitmény képes megfelelően elvezetni a vizet.

A vízáteresztő pályaszerkezet legalsó rétege a víztározó alapréteg, amelynek vastagsága a méretezés szempontjából mértékadó csapadékvíz-terhelés függvényében kerül felvételre. [32]

A tározóréteg felett helyezkedik el az igénybevételtől függően kialakított teherhordó réteg. Erre kerülhet szükség esetén egy fagymentesítő réteg, majd a többnyire zúzottkő anyagú, kötőanyag nélküli alapréteg, amely a szemcsék közti hézagokban képes elvezetni, illetve ideiglenesen tárolni a vizet. Legfelső réteggként pedig a kopóréteg, illetve burkolat típusától függően alatta az ágyazó réteg következik. Az ágyazó anyag alá jó vízáteresztő képességű geotextília elhelyezése kötelező, amely megakadályozza a finom szemcsék bemosódását az alsóbb rétegekbe [1]

A 2. számú ábrán láthatunk egy példát a vízáteresztő térkő burkolatok általános rétegrendjére.



2. ábra Példa egy vízáteresztő rétegrend felépítésére térkő burkolattal [46]

Fontos tulajdonsága a rétegeknek a szemcseösszetétel. Általános szabályként azt mondhatjuk, hogy minél kisebb átmérőjű szemcsékből áll a réteg, annál kisebb lesz a vízáteresztő képessége. Szintén lényeges jellemzője a burkolt felületnek az esése, amely nagyban befolyásolja a lefolyás mértékét. Minél nagyobb az esés, annál gyorsabban és nagyobb hozammal tud a csapadék lefolyni. Habár a cél a lefolyás mértékének csökkentése, mégis egy minimális esést

biztosítani kell a felület számára, mert a burkolat felszíni szivárogtató képességét meghaladó intenzitású csapadék esetén is biztosítani kell, hogy a felületen a víz ne tudjon megállni.

4.3 A vízáteresztő burkolatok alkalmazásának feltételei

A vízáteresztő burkolatok beszivárogtató képességét, valamint a szerkezeti épségét számos környezeti tényező befolyásolja, melyeket a tervezésnél figyelembe kell venni.

Nulladik lépésnek lehet tekinteni a környezetnek a vizsgálatát, hogy ahová szeretnénk építeni a burkolatunkat alkalmas-e erre. Többek közt meg kell vizsgálni, hogy a víznek és a terhelésnek hatására az altalaj nem hajlamos-e a roskadásra, ebben közrejátszik, hogy milyen használatra szánjuk (forgalom nagysága, gyakorisága, használat típusa stb.). Vizsgálandó, hogy a kapcsolt vízgyűjtőkről milyen mennyiségű és minőségű szennyezőanyag terhelés éri a burkolatot (por, virágpor, egyéb finomszemcséjű anyagok). Jelentős kérdés az altalaj vízáteresztő képessége, amely limitálja a felette elhelyezkedő rétegeknek a beszivárogtató képességét. (Nem elégséges vízáteresztő képesség esetén alkalmazhatóak kiegészítő drén rendszerek a vízelvezetésre.)

Meg kell vizsgálni továbbá a felszín alatti vizeket és közeget, egyúttal az épített környezetet is figyelembe kell venni. Fontos a területen jellemző talajvízszinteknek a meghatározása, mert magas talajvízállás esetén kialakulhat talajvízdomb, amely lassítja a beszivárgást, valamint a környező ingatlanok és infrastruktúrák szerkezetét károsíthatja ezáltal. Emiatt az épületektől meghatározott védőtávolság betartása is szükséges.

Meghatározó kérdés a vízbázisok közelségének és a felszín alatti vizeknek az érzékenysége. Az elszivárogtató burkolat (vagy szerkezet) csak akkor alkalmazható, hogyha annak kialakítása képes a szennyezőanyagoknak a megsűrűzésére, olyan mértékben, hogy azok ne károsítsák a felszín alatti közeget vagy vizet. A szennyezőanyagok szűrésére alkalmazható például speciálisan erre a célra kialakított geoműanyag.

További szempont, hogy az elszivárogtató szerkezeteknek a létesítése vízjogi engedély-köteles, valamint számos előírás figyelembevételével és hatóságokkal való egyeztetés szükséges egy-egy létesítménynek a tervezésénél.

4.4 Vízáteresztő útpályaszerkezetek csoportosítása a csapadékvíz elvezetés módja szerint

Az útpályaszerkezetbe beszivárogtatott víznek biztosítani kell a károkozásmentes elhelyezését, amely jelentheti a víz talajba való szivárogtatását vagy a közelben létesített csapadékvíz-elvezető rendszerbe való tovább vezetését is. Az elhelyezés módja szerint három típust különböztünk meg [32] (3. ábra):

a.) Teljesen elszivárogtató, jó vízáteresztő képességű talaj esetén

Ebben az esetben, ha az altalaj olyan jó vízáteresztő képességgel rendelkezik, hogy nincsen szükség kiegészítő vízelvezetésre (például dréncsőre), a beszivárogtatott vizet teljes egészében a talajba szikkasztjuk. A burkolat rétegeit stabilabbá tehetjük, ha nagy vízáteresztő képességű geotextíliával, georácscsal egészítjük ki azt.

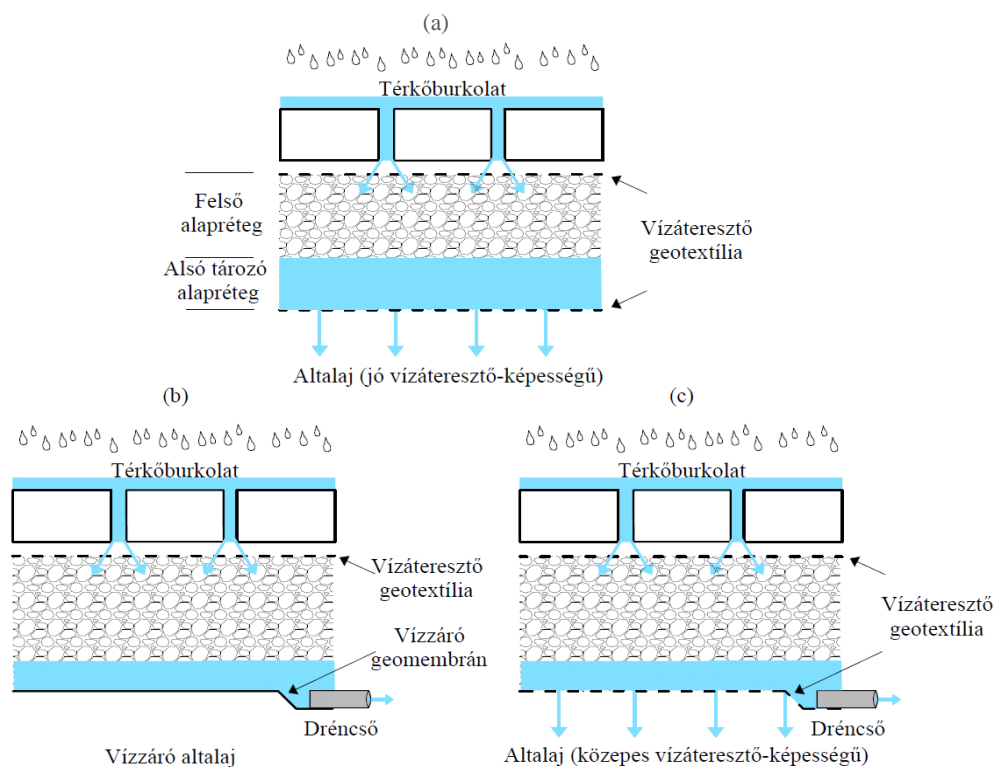
b.) Nem elszivárogtató, vízzáró talaj esetén

Ebben az esetben a pályaszerkezetbe szivárgó vizet ugyan késleltetve, de teljes egészében tovább vezetjük a közeli csapadékvíz-elvezető rendszerbe. Erre akkor lehet szükség, ha az altalaj vízzáró, vagy az adott területen nem engedélyezett a szikkasztás. A pályaszerkezetben összegyűjtött vizet geotextíliával bevont dréncsővel szállítjuk el.

c.) Részben elszivárogtató, közepes vízáteresztő képességű talaj esetén

Amennyiben a talaj szivárogtató-képessége nem elégséges és túlzottan vastag víztározó alapréteg kialakítására lenne szükség a mértékadó csapadék kezelésére, abban az esetben a beszivárgó vizet részben a talajba szikkasztjuk, részben pedig dréncsőken keresztül vezetjük el az alépítményből.

Ha a pályaszerkezetbe olyan réteg kerül beépítésre, amely vízzáró, vagy közel vízzáró alapréteget képez (CKT, kis szilárdságú beton alap), akkor a réteg megszakításával kell biztosítani a csapadékvíz tovább szivárgását a jó vízáteresztő képességű rétegbe, illetve a dréncsővek felé.



3. ábra Burkolatok csoportosítása a csapadékvíz elvezetés módja szerint: (a) teljesen elszívárogató, (b) nem elszívárogató, (c) részben elszívárogató [32]

4.5 Alkalmazásuk és fenntartásuk [1] [23] [40]

A vizáteresztő burkolatokat gyakran alkalmazzák parkolóknak, alacsonyabb forgalmú utakon, járdák kialakításánál, kocsibejáróknál, parkokban, játszótereken, valamint sportpályákon is.

A burkolatok vizáteresztő képessége idővel csökkenhet, ezért rendszeres és megfelelő karbantartásra van szükségük. Nulladik lépésként még a tervezés során érdemes jól meggondolni, hogy hova is építjük meg a burkolatot. Célszerű elkerülni az olyan helyeket, ahol nagy mennyiségű finomszemcsés anyag tud a burkolat felületére jutni, ugyanis ezek idő előtti eltömődéshez vezethetnek, ezzel csökkentve a felület vizáteresztő képességét.

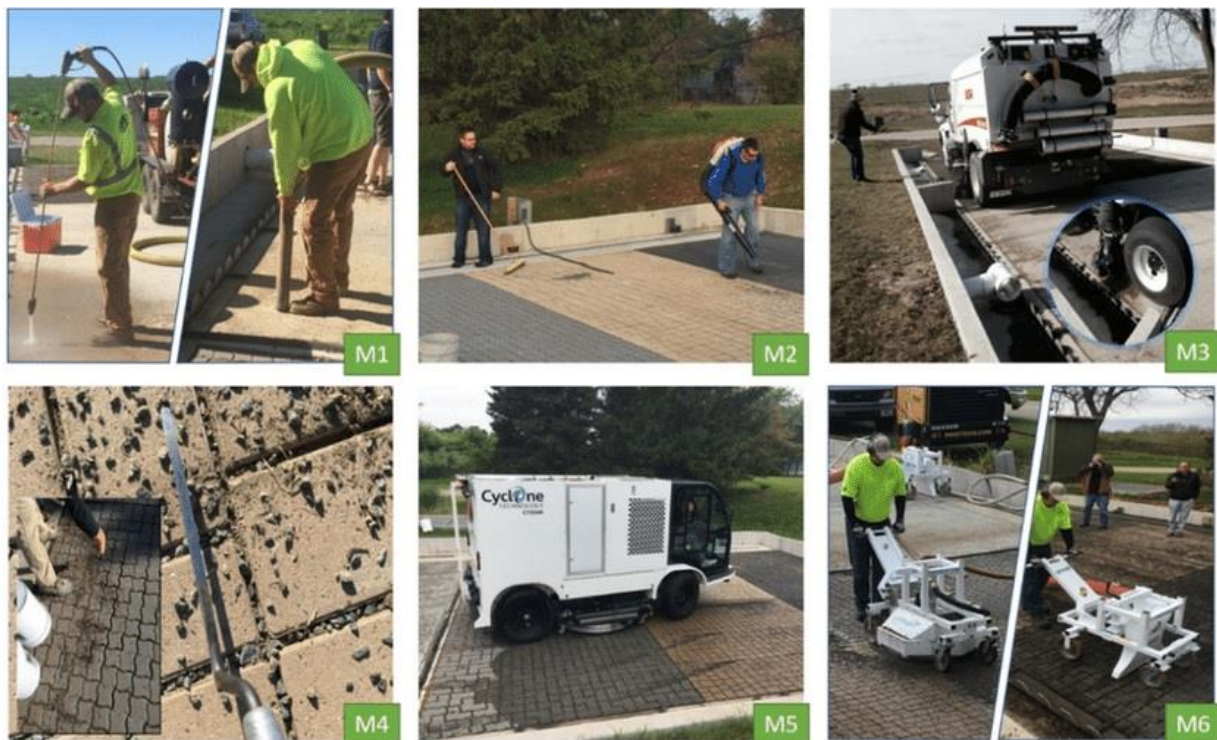
Szórt burkolatok esetén ősszel különösen érdemes a lehulló leveleket minél előbb eltávolítani a burkolat felületéről, ezzel megakadályozva a bomló levéltörmelék bejutását a burkolat pórusaiba. Alkalmazható kézi seprű, seprőgép, lombfúvó, valamint műanyag kefe a felületi szennyeződések eltávolítására, azonban a fém kefe használata nem ajánlatos, mert roncsolhatja a burkolat felületét. Az esetlegesen a burkolatban megjelenő növények vegyszer nélkül, például gőzborotvával könnyedén eltávolíthatók.

Télen is célszerű a burkolatok tisztítása. Ilyenkor a hó és a jég olvadékot mechanikai eszközökkel érdemes eltávolítani, mint például gumi élű hólapátokkal vagy seprőgéppel. Acél jégtörő nem ajánlott, mert használata kárt tehet a burkolatban. A csúszásmentesítésre sótartalmú szerek alkalmazhatóak, a homok, illetve apró közúzalék használata nem javasolt.

Az általános tisztítási és karbantartási munkálatokon túlmenően érdemes a burkolatokat évente legalább egyszer alaposabb tisztításnak is alávetni, melynek segítségével a burkolatban beágyazódott szennyeződések jelentős részét eltávolíthatjuk. A műgyantával stabilizált szórt és öntött gumi burkolatok esetében ilyen eljárás a magasnyomású mosóberendezéssel való tisztítás, legalább 100 bar nyomással, de inkább 150 bar alkalmazásával és hideg vízzel. Már léteznek olyan berendezések is, amelyek a mosással egyidejűleg szívni is képesek, így elkerülhető a szennyezőanyagok alsóbb rétegekbe történő bemosódása.

A térkő és terméskő burkolatok esetében az eltömődés mértéke különösen jelentős lehet a fugák közt, valamint az ágyazó rétegben. Ilyenkor a fugázó anyag felső rétegének (kb. 1 cm) eltávolításával és annak cseréjével jelentősen javíthatjuk a felület szivárogtató képességét. Ez történhet kézi módszerrel vagy célgépek alkalmazásával.

A karbantartási és tisztítási munkálatokra láthatunk példát a 4. ábrán vízáteresztő térkő, porózus aszfalt és porózus beton burkolatok esetében.



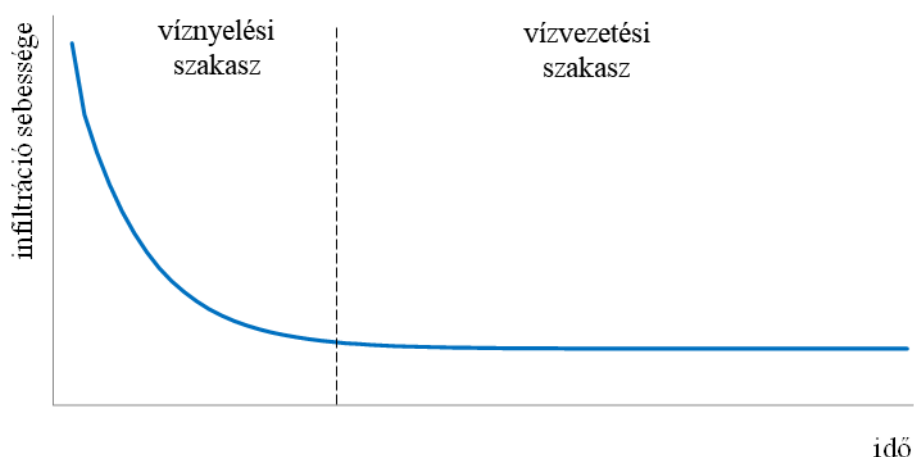
4. ábra Karbantartási gyakorlatok: M1 – Nagynyomású kézimosó és kézi szívóberendezés; M2 – Lombfúvó és kézi seprű; M3 – Porszívós utcaseprő; M4 – A térkövek fugázó anyagának kézi eltávolítása; M5 – Magasnyomású mosó és egyidejű szívóberendezés; M6 – Sűrített levegő fúvó és szívóberendezés [23]

5 Anyag és módszer

A vízáteresztő burkolatok vízáteresztő képességén – a talajoknál és általában a porózus anyagoknál ismert módon – a burkolatnak azt a képességét értjük, hogy a vizet továbbítani tudja. Jellemzésére általában a vízáteresztő képességi együtthatót (szivárgási tényezőt) használják, amely megmutatja, hogy víztelített állapotban a közeg egységnyi felületén, egységnyi idő alatt, egységnyi gradiens mellett mekkora víztérfogat áramolhat keresztül.

Ugyanakkor ismert, hogy a telítetlen porózus közegek csapadék-beszivárogtató képessége nem állandó, hanem függ a közeg nedvességtartalmától. A folyamatot a Richards-egyenlet [27] írja le. Az egyenlet nemlineáris, parciális differenciál-egyenlet. Megoldásához ismerni kell többek között a nedvességtartalom-mátrixpotenciál és a nedvességtartalom-szivárgási tényező kapcsolati függvényeket. Tekintve, hogy ezek meghatározása nehézkes és költséges (és a Richards-egyenlet általános esetben ezek ismeretében sem oldható meg analitikusan), a mérnöki gyakorlatban a felszíni beszivárgást empirikus és fél-empirikus formulákkal írják le. Ezek közül egyszerűségük miatt elterjedten alkalmazzák a Philip- [26] és Horton- [14] egyenleteket.

A Horton-egyenlet alapján felrajzolható görbe (5. ábra) szemléletesen mutatja meg, hogy a talaj vagy vízáteresztő burkolat csapadék-beszivárogtató képessége (ezt meghaladó intenzitású csapadék esetén) időben hogyan változik. A vízvezetési szakaszban állandósuló infiltrációs sebesség jó közelítéssel megadja a telített szivárgási tényezőt. Ugyanakkor a kezdeti, víznyelési szakaszban ennél jóval nagyobb beszivárgási sebesség alakulhat ki, attól függően, hogy a csapadékesemény kezdetekor mekkora volt a közeg nedvességtartalma.



5. ábra A beszivárgás sebességének időbeli változása a Horton-egyenlet alapján

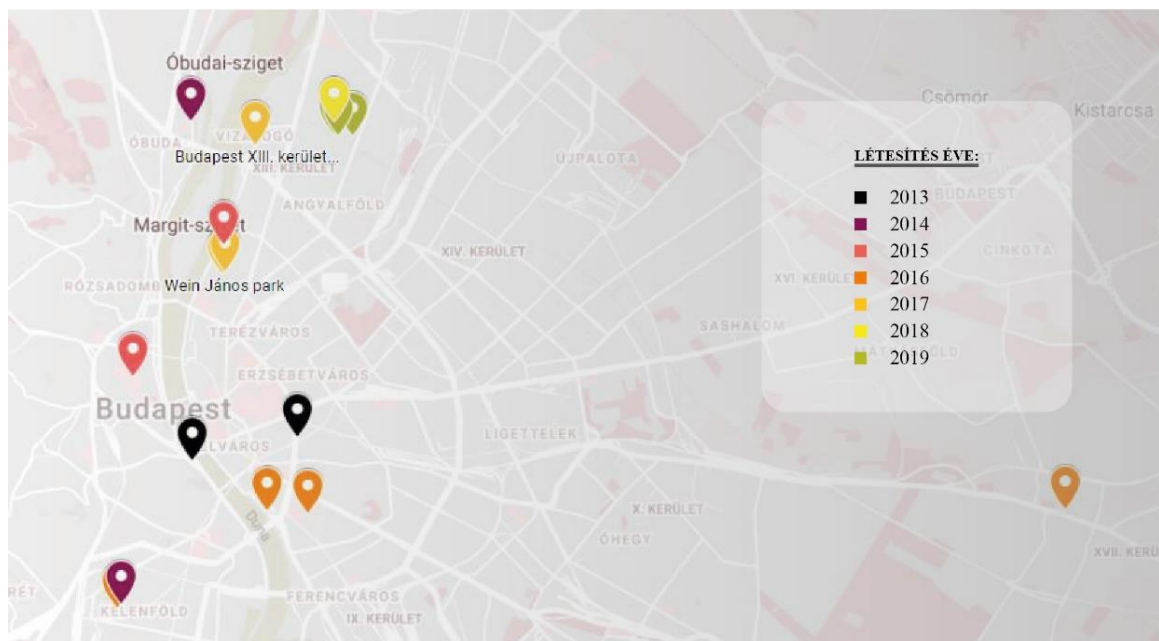
Tehát, ellentétben a csatornával történő csapadékvíz-elvezetés tervezésnél alkalmazott megközelítéssel, miszerint az elvezetőrendszer vízszállító kapacitása – függetlenül a megelőző

eseményektől – minden pillanatban állandó, az elszivárogtatáson alapuló LID megoldásoknál (és így a vízáteresztő burkolatoknál is) a rendszernek „memóriája van”, elszivárogtató képessége függ a megelőző időszak meteorológiai viszonyaitól. Következésképpen a burkolat tervezéséhez ismerni kellene a burkolat anyagára érvényes Horton görbét, mert a víznyelési szakasz figyelmen kívül hagyása jelentős hibákhoz vezethet a méretezés során.

Kutatásom első mérései során kiderült, hogy a vizsgált burkolat típusok telített vízáteresztő képességi együtthatója is nagyságrendekkel nagyobb, mint a hazánkban előforduló extrém csapadékok intenzitása. Vagyis a víznyelési szakasz lefutásának ismerete gyakorlati szempontból nem jelentene többlet információt. Másik oldalról, éppen a nagyon magas vízáteresztő képességük miatt az alkalmazott mérési módszerrel a víznyelési szakasz csak nagy bizonytalanságokkal lenne kimérhető. Ezen szempontokat mérlegelve a telített vízáteresztő képességi együtthatók mérésére fókuszáltam.

5.1 Mérési helyszínek

A kutatásom keretében 18 budapesti helyszínen alkalmazott vízáteresztő burkolat felszíni beszivárogtató képességének mérésére került sor 2020 telén és nyarán, valamint 2021 nyarán és őszén. Az egyes mérési pontokhoz tartozó eredmények a 2. számú mellékletben kerültek feltüntetésre táblázatos formában. Az alábbi térképen (6. ábra) láthatóak a mérések helyszínei, a burkolatok létesítésének ideje szerint eltérő színekkel ábrázolva.



6. ábra Mérési helyszínek

A burkolatok létesítésének időpontja 2013-tól 2019-ig terjed ki. Az alábbi összefoglaló táblázatban (1.táblázat) látható a helyszínek megnevezése, hogy melyik kerületben találhatóak, mire használják az adott felületet, valamint a létesítési évük és a burkolat típusának megnevezése.

1. Táblázat Mérési helyszínek összefoglaló táblázata

Helyszín	Hasznosítás	Kerület	Létesítés éve	Burkolat típusa
Romkert	járda	1. kerület	2013	szórt kavics
Rákóczi tér	favermek	8. kerület	2013	szórt kavics
Bikás park	pingpongasztalok alatti burkolat	11. kerület	2014	szórt kavics
Laktanya utca park	futópálya	3. kerület	2014	öntött gumi
Duna játszótér	játszótér burkolata	13. kerület	2015	öntött gumi
Budai vár oldala	járda	1. kerület	2015	szórt kavics
Pesti út 124., (Szent kereszt tér)	favermek, járda	17. kerület	2016	szórt kavics
Kalóztenger játszótér	játszótér burkolata	11. kerület	2016	öntött gumi
Nehru part játszótér	játszótér burkolata	9. kerület	2016	öntött gumi
Ferenc tér	játszótér burkolata	9. kerület	2016	öntött gumi
Dagály sétány	járda	13. kerület	2017	szórt kavics
Népfürdő utca 21.	park burkolata	13. kerület	2017	szórt kavics
Wein János park	járda	13. kerület	2017	szórt kavics
Wein János park játszótér	játszótér burkolata	13. kerület	2017	öntött gumi
Hajós játszótér	játszótér burkolata	13. kerület	2018	öntött gumi
Fiastyúk utca közpark	járda, favermek	13. kerület	2019	szórt kavics
Hajdú utca sportpark	futópálya burkolata	13. kerület	2019	öntött gumi
Hajdú utcai játszótér	játszótér burkolata	18. kerület	2019	öntött gumi

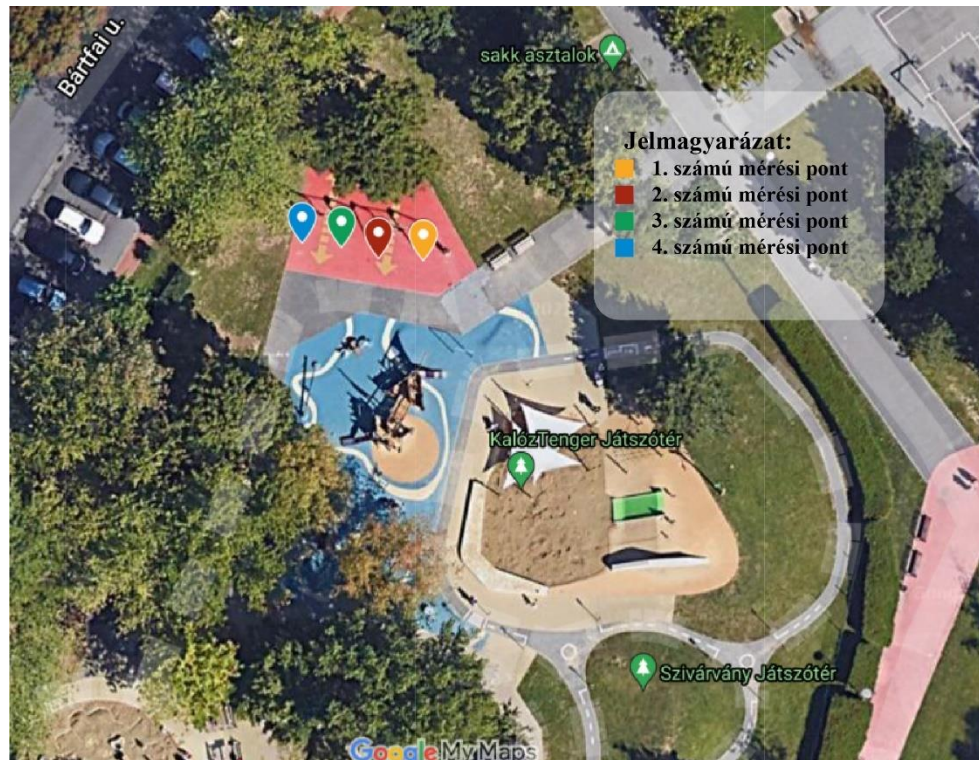
Mint az 1. táblázat alapján is látható, a legtöbb burkolat játszótérek felületét, szabad terek járdáit alkotják, illetve található köztük favermek borítása is. Azonban környezetük és mindennapi használatuk egymástól eltérő, ezáltal változatos képet adnak számunkra.

A 2020 telén végzett mérésekre adott év februárjában került sor négy helyszín (a Hajós játszótér, a Fiastyúk utca közpark, valamint a Hajdú utca sportpark és játszótér) esetében. A 2020 és 2021 nyarán végzett mérésekre pedig az adott év június-augusztus hónapjai közt került sor mind a 18 helyszín esetében.

Az egyes burkolatok használatára, illetve környezetére vonatkozó információk részletesebben is bemutatásra kerülnek az 1. számú mellékletben.

A szimpla- és dupla gyűrűs mérések összehasonlításához a 11. kerületi Kalóz tenger játszóteret választottuk, amely a Bikás parkban található. A mérések 2021 őszén kerültek elvégzésre két alkalommal, egymás után körülbelül 2 hét eltéréssel.

Az egyes mérési pontok mérési eredményeit a 3. számú melléklet mutatja be. A mérésekre 4 pontban került sor, melyet az alábbi 7. ábra szemléltet.



7. ábra A szimpla- és dupla gyűrűs mérések pontjait bemutató térkép részlet

5.2 A mérés célja, módja és eszközei

A beszivárgási tesztnek a célja, hogy a vízáteresztő burkolat egységnyi, reprezentatív felületét vizsgálva megkapjuk annak vízáteresztő képességi együtthatóját.

A mérések során a szimpla gyűrűs infiltrációs módszert alkalmaztam, melyről részletesebben az 5.5 alfejezetben lesz szó. A másik alkalmazható módszer a dupla gyűrűs infiltróméter használata lehet, azonban ennek kivitelezése egy személy számára – tekintettel arra, hogy a mérések többségét egyedül hajtottam végre -nem lett volna megoldható az egyes helyszíneken, a mérés az 5.6 alfejezetben részletesen is bemutatásra kerül.

A szimpla gyűrűs mérési módszer hátránya, hogy az oldalirányú elszivárgás miatt a függőleges vízáteresztő képességi együttható felülbecslésével járhat, amely talajok esetében fél-egy nagyságrendnyi eltérést is jelenthet.[17] Annak érdekében, hogy a vizsgált burkolattípusok esetében is képet kapjunk a szimpla gyűrűs mérés hibájának nagyságrendjéről, a Bikás park,

Kalóztenger játszótér helyszínen méréseket végeztünk szimpla- és dupla gyűrűs infiltrométerrel egyaránt, melynek az eredményeit a 6.3 fejezet tárgyalja.

A mérés tervezésénél és kivitelezésénél a dolgozat készítésének idejében még lektorálás alatt álló Kiselemes burkolatok Útügyi Műszaki Előírásának (KB-ÚME) [32] a vonatkozó előírásait vettem figyelembe. A KB-ÚME alapvetően kiselemes burkolatok tervezésével, kivitelezésével és fenntartásával kapcsolatos előírásokat fogalmaz meg, tehát szórt kavics és öntött gumi burkolatokra nem kötelező az alkalmazása. Az általam vizsgált burkolat típusok vízáteresztő képességének vizsgálatára nincs hazai előírás, tematikáját tekintve pedig ez tekinthető a leginkább relevánsnak, ezért döntöttem úgy, hogy méréseimet eszerint végzem el.

A 2020-ban elvégzett téli mérésekhez 200 mm átmérőjű, 200 mm magasságú acél, a 2020-ban és 2021-ben elvégzett nyári mérésekhez 300 mm átmérőjű, 200 mm magasságú PVC gyűrűt használtam. A burkolat és a gyűrű közötti érintkezési felületet agyaggal tömítettem annak érdekében, hogy az egyenetlen felszín és a gyűrű között a gyűrűbe töltött víz ne tudjon kiszivárogni. A szintetikus tömítőanyagokkal szemben az agyag könnyen visszanyerhető, újra felhasználható, a mérések során a burkolatok felületében nem okozott kárt, valamint környezetbarát is.

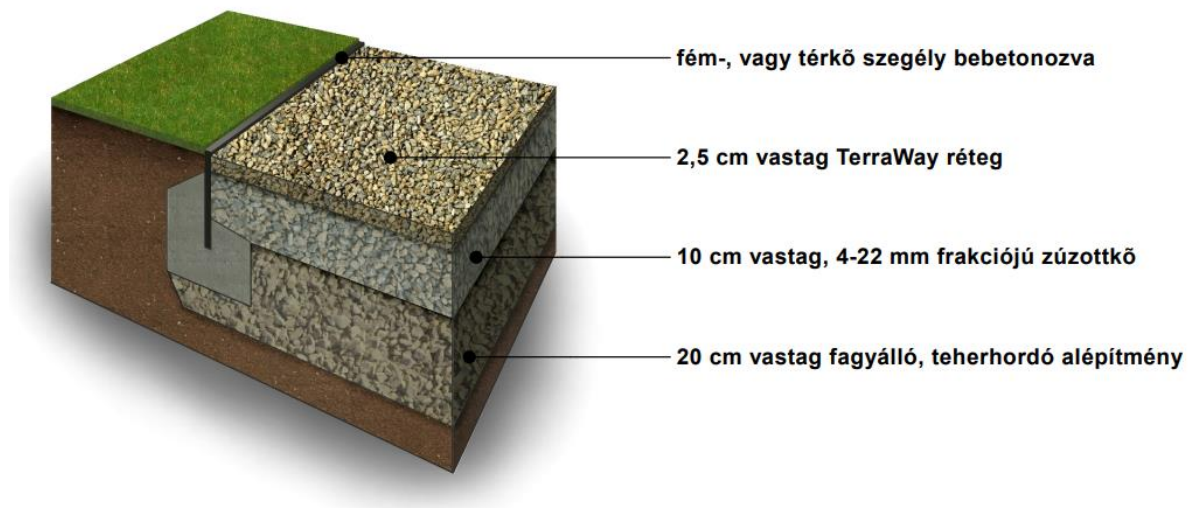
A mérés olyan vízáteresztő burkolaton hajtható végre, melynek szerkezeti rétegei vízáteresztők, és a vízáteresztő képessége nem csökken alsóbb rétegekben sem. Azoknál a burkolatoknál, melyeknél az alapréteg nem vízáteresztő, vagy gyengébb a vízáteresztő képessége, mint a felszíni burkolaté, a mérési módszer nem alkalmazható.

5.3 A mért helyszínek burkolata

Az általam vizsgált felületek burkolata műgyantával stabilizált szórt burkolatok, valamint öntött gumi burkolatok. A szórt burkolatok kivitelezését a TerraWay Magyarország Kft. végezte.

A TerraWay burkolatok általános réteg felépítése a 8. számú ábrán látható. A cég honlapján közzétett információk alapján a burkolatok vízáteresztő képessége együtthatója 1800 mm/óra, ezt az értéket kell, hogy tudják teljesíteni a létesítésükkor. [41]

Az öntött gumi burkolatok esetében nem állt rendelkezésemre információ a kivitelezést, illetve a részletesebb felépítést illetően. Így ezen burkolatok esetében feltételeztem, hogy az alépitmény is legalább olyan vízáteresztő képességgel rendelkezik, mint a legfelső réteg, így a vízáteresztő képesség mérése elvégezhető ezen burkolatok esetében is.



8. ábra A TerraWay, szórt kavics burkolatok általános rétegfelépítése [38]

5.4 A mérési pontok kiválasztása és a mérés körülményei

A mérési pontok kiválasztásánál több szempontot vettem figyelembe:

- a gyűrű által körbezárt felület jól reprezentálja a teljes burkolat felületét,
- a méréssel a járókelőket, vagy az éppen ott szabad idejüket töltő embereket ne zavarjam,
- a pontok között legalább 5 méter távolság legyen (ha ezt a burkolat adott irányban lévő szélessége lehetővé tette, ez alól kivételt képeznek a szimpla- és dupla gyűrűs mérések összehasonlításánál kiválasztott mérési pontok.)

A méréseket többnyire napos vagy napos-felhős időben végeztem. Csapadékos időben nem végeztem méréseket. A nyári mérések során az átlagos hőmérséklet 30 °C körül volt, a télen végzett mérések során 5 °C körül, valamint az őszi méréseknél 14 °C körül.

A 2021-es nyári mérések során - a legtöbb helyszín esetében - a mérési pontjaim számát bővítettem legalább egy mérési ponttal. A mérési pontok száma nem került bővítésre a Rákóczi tér, Pesti út 124., Hajdú utca sportpark, futópálya, valamint a Hajdú utcai játszótér estében. A Rákóczi tér esetében a favermek burkolata nagyon kis területet képez, ezért itt nem jelöltem ki új mérési pontot. A többi helyszín esetében pedig legalább 3 mérési pont rendelkezésre állt, ezért nem került kijelölésre új mérési pont.

Az új pontokkal való mérések lehetőséget adnak arra, hogy az egyes helyszíneken belüli vízáteresztő képesség területi változékonyságát értékeljem (lásd 6.2 alfejezet).

5.5 A szimpla gyűrűs mérés folyamata

Az alábbiakban az egyes mérési pontokon elvégzett szimpla gyűrűs felszíni beszivárgási tesztnak a folyamatát ismertetem részletesen.

A mérés előkészítése

A gyűrű belső felületén két osztást rajzoltam a gyűrű aljától 10 és 15 mm távolságban, ez azért szükséges, mert a mérések során ezen két érték közt kellett tartani a vízszintet.

A burkolatot első lépésként megtisztítottam a hulladéktól és törmeléktől (állati eredetű törmelékek, szilárd anyagok, por) sepréssel. Következő lépésként elhelyeztem a gyűrűt az előzetesen megtisztított felületen. Majd megjelöltem a gyűrű helyét krétával, illetve dokumentáltam annak elhelyezkedését fénykép készítésével. Ezután a rajzolt kör vonalában elhelyeztem az agyagot, majd belenyomtam a gyűrűt, ügyelve arra, hogy a gyűrű belső oldalára csak a vízzáráshoz szükséges agyag mennyiség kerüljön.

Előnedvesítés

A mérés végrehajtása előtt a burkolatot előnedvesítettem, amelyre azért volt szükség, hogy a kezdeti víznyelési szakasz ne befolyásolja a mért értéket. A mérés során felhasznált víz mennyiségét a gyűrű átmérője alapján határoztam meg a KB-ÚME előírásai alapján. Így a 200 mm-es átmérőjű gyűrűhöz 2,5 liter, a 300 mm-es átmérőjű gyűrűhöz 5 liter vizet használtam.

Az előnedvesítés során a korábban meghatározott mennyiségű vizet a gyűrűbe öntöttem akkora sebességgel, hogy a víz szintje a két jelölés közt maradt. Eközben pedig elindítottam a stoppert, amint a víz elérte a burkolat felületét, majd pedig leállítottam, mikor már nem láttam vizet a burkolat felületén. Az eltelt időt egész másodpercre, lefelé kerekítve jegyeztem fel.

Az előnedvesítés idejének függvényében meghatároztam a teszthez szükséges vízmennyiség, a gyűrű átmérőjének megfelelően. A szükséges vízmennyiségeket a 2. táblázat mutatja: [32]

2. Táblázat A méréshez szükséges víz térfogata [liter] [32]

Átmérők [mm]	Előnedvesítés ideje [másodperc]				
	<5	≥ 5 és < 10	≥ 10 és < 20	≥ 20 és < 30	≥ 30
300	40	25	15	10	5
400	80	50	30	20	10
500	120	75	45	30	15
600	160	100	60	40	20

A fentiekől eltérő átmérő esetén a szükséges víz mennyiségét lineáris interpolációval (vagy extrapolációval) számíthatjuk. A 200 mm átmérőjű gyűrű használatakor is ezt alkalmaztam.

Vizsgálat menete

A vizsgálatot a KB-ÚME előírásai szerint az előnedvesítés után 2 percn belül elkezdtem. Az előnedvesítés során meghatározott mennyiségű vizet a gyűrűbe öntöttem olyan sebességgel, hogy a vízszint a két jelölés közt maradt, egészen addig míg a teljes mennyiség ki nem ürült a tartályból. Eközben pedig az idő mérését ismételten elkezdtem, amikor a víz elérte a burkolat felületét, majd mikor már nem láttam vizet a burkolat felületén leállítottam azt. Az eltelt időt egész másodpercre, felfelé kerekítve feljegyeztem.

Minden mérésre kijelölt pontban kettő mérést végeztem. A második mérés megkezdésekor legfeljebb öt percet vártam az első mérés befejezésétől számítva. A két mérés közt ismételt előnedvesítést nem végeztem.

Miután egy pontban befejeztem a mérést, azután a tömítőanyagot eltávolítottam a burkolat felületéről.

A mérések során többnyire volt segítségem, így például a víz öntése és a stopperóra együttes elindítása nem okozott gondot.

A 9. számú ábrán a felállított mérőgyűrű, valamint a mérés folyamata látható szimpla gyűrűs infiltrométer használatával.



9. ábra Mérőeszközök és a mérés folyamata szimpla gyűrűs mérési módszer esetében

5.6 Dupla gyűrűs mérés folyamata

A módszer rövid leírása

A dupla gyűrűs infiltrométer módszer lényege, hogy két, koncentrikusan elhelyezett gyűrűt helyezünk a burkolat felszínére, ezeket előre meghatározott szintig vízzel töltjük, és a belső gyűrűben mérjük az egységnyi időre jutó vízszint-csökkenést. A külső gyűrűben a vízszintet a mindenkori, belső gyűrűben kialakuló vízfelszín szintjén tartjuk. Ennek célja, hogy a belső gyűrűből történő szivárgást a külső gyűrűből elszivárgó víz oldalról „megtámassza”, ezzel biztosítva, hogy a belső gyűrűből elszivárgó víz sebesség-vektora függőleges legyen.

A módszer leírásától a mérések során annyiban térünk el, hogy a szimpla gyűrűs méréseknél megegyező módon állandó vízszintet tartottunk a belső gyűrűben, a gyűrű aljától 10 és 15 mm távolságban, tehát állandó vízszint tartásos beszivárgás mérést hajtottunk végre.

A mérés folyamata

A méréseket a szimpla-gyűrűs mérési módszerhez hasonlóan hajtottuk végre. A mérés megkezdése előtt a kijelölt pontokat megtisztítottuk, majd a mind külső és mind a belső gyűrűt agyag segítségével tömítettük.

A mérések megkezdése előtt előnedvesítettük a burkolat felületét a gyűrű belső átmérőjének megfelelő vízmennyiséggel, jelen esetben 5 liter vízzel [32]. Majd ez előnedvesítés idejétől függően a méréshez a 2. táblázatnak megfelelő vízmennyiséggel elvégeztük a mérést az adott pontban.[32] Itt azonban nem teljesen a fent leírtakkal megegyezően jártunk el, ugyanis az egyes mérési pontokban több mérést is végeztünk egymás után. Az egyes mérési pontokban

végrehajtott mérések számát a 3. számú táblázat mutatja be. Mindeközben a külső gyűrűt folyamatosan után töltöttük, a mindenkori, belső gyűrűben kialakuló vízfelszín szintjén tartva. Az előnedvesítés, valamint a mérések idejét egész másodperce kerekén feljegyeztük, a mérési pontok helyszínét fénykép készítésével dokumentáltuk.

3. Táblázat A szimpla és dupla gyűrűs mérések összehasonlítása során az egyes mérési pontokban végrehajtott mérések száma

Mérési pont	Mérések száma	
	Dupla gyűrűvel mért	Szimpla gyűrűvel mért
1. számú mérési pont	9	4
2. számú mérési pont	11	4
3. számú mérési pont	6	4
4. számú mérési pont	6	1
2. számú mérési pont (ismételt mérés)	-	9

Annak érdekében, hogy meghatározható legyen, hogy a szimpla és a dupla gyűrűs mérések során keletkezik-e eltérés a vízáteresztő képességnek az értékében a kijelölt mérési pontokon először dupla gyűrű segítségével hajtottuk végre a méréseket, majd a külső gyűrűt eltávolítottuk és szimpla gyűrűvel folytattuk a mérést az adott pontban. Ezt a lépést fordítva is végrehajtottuk, először szimpla gyűrű használatával mértük az adott ponton a vízáteresztőképességet, majd felállítottuk köré a külső gyűrűt és dupla gyűrűvel folytattuk a mérést az adott pontban. Ezt a módszert alkalmaztuk az 1. és 2. számú mérési pontok esetében.

A 3. és 4. számú mérési pontok esetében annyiban térünk el az előzőektől, hogy a dupla gyűrűs mérés befejezése után fél órát vártunk a szimpla gyűrűvel történő mérések megkezdése előtt. Ez azért volt szükséges, hogy a korábban már a külső gyűrű alatt telítődött burkolat biztosan ismétetlen telítetlen fázisba kerüljön, így szimpla gyűrűs mérési módszer esetében az oldal irányú elszivárgás biztosított.

Továbbá a második számú mérési pontra a későbbi mérés alkalmával ismétetlen rámértünk, azonban csak szimpla gyűrűs mérési módszer alkalmazásával. Ezáltal képet kaphatunk arról, hogy a mérési sorozat görbéjének lefutásában van-e eltérés a szimpla- és dupla gyűrűs mérési sorozat által eredményeihez képest (lásd 6.3 alfejezet.)

A mérések végrehajtása során a belső gyűrűként 300 mm átmérőjű, 200 mm magasságú PVC gyűrűt, külső gyűrűként pedig 500 mm átmérőjű, 200 mm magasságú PVC gyűrűt használtunk. A 10. számú ábrán a felállított dupla gyűrűs infiltróméter, valamint a szimpla- és dupla gyűrűs mérések folyamata látható.



10. ábra A dupla gyűrűs infiltrométer és a mérési folyamat szimpla- és dupla gyűrűs mérések esetében

5.7 Mérési eredmények kiértékelése

A mérések során kapott eredményeket az alábbiakban található összefüggés alapján dolgoztam fel. A következő képlettel a burkolat egy pontjában jellemző vízáteresztő képessége számítható [32]:

$$k_b = \frac{4000}{D^2 \cdot \pi} \cdot \min \left\{ \frac{V_1}{t_1}, \frac{V_2}{t_2} \right\} \quad (1)$$

Ahol

- k_b - burkolat vízáteresztő képessége az adott mérési pontban [m/mp]
- D - a gyűrű belső átmérője [mm]
- V_1 - az 1. mérés során felhasznált víz térfogata [liter]
- V_2 - a 2. mérés során felhasznált víz térfogata [liter]
- t_1 - a víz elszívárogatásához szükséges idő az 1. mérés során [másodperc]
- t_2 - a víz elszívárogatásához szükséges idő a 2. mérés során [másodperc]

Így tehát az adott pontban az (1) számú képlet alapján mindig az alacsonyabb értékkel rendelkező vízáteresztőképességet vesszük figyelembe a burkolat vizsgálatakor.

A burkolt felület átlagos vízáteresztő képességét a több pontban elvégzett mérések átlagából kapjuk meg az alábbi képlet segítségével:

$$k_{b,\text{átl}} = \frac{\sum k_{b,i}}{n} \quad (2)$$

Ahol

- $k_{b,\text{átl}}$ - a burkolat átlagos vízáteresztő képessége [m/mp]
- k_b - a burkolat vízáteresztő képessége az adott mérési pontban [m/mp]
- n - mérési pontok száma

A burkolt felület átlagos vízáteresztő képességénél is az egyes mérési pontokon mért alacsonyabb vízáteresztő képesség értékének az átlagát fogjuk figyelembe venni.

5.8 Burkolat kora és vízáteresztő képességi együtthatója közötti kapcsolat vizsgálata

A burkolatok vízáteresztő képességi együtthatója a tapasztalatok szerint (3. fejezetben részletezett hatásmechanizmusok miatt) a burkolat korával csökken. A csökkenés jellege a szakirodalomban közzétett mérések alapján nem lineáris. Saját eredményeim alapján a vízáteresztő képességi együttható a burkolat korával exponenciálisan csökken, ezért a jelenség elméleti leírásához az alábbi függvényt alkalmaztam:

$$k_b(T) = c * e^{-d*T} \quad (3)$$

ahol c és d alaki paraméter, T a burkolat kora [év].

A mért értékekre való görbe illesztése során burkolatok típusát tekintve a leíró függvényt külön kezeltem a szórt kavics és a gumi burkolatok esetében. A mért értékeket tovább osztályoztam a szennyezésnek való kitettség alapján, és a függvényillesztéseket a két kategóriába eső pontokra külön-külön végeztem el:

- Szennyezésnek jobban kitett pontok:
Ebbe a kategóriába soroltam az olyan mért pontokat, amelyek közelében homokozó, vagy egyéb nagyobb szennyező forrás (burkolatlan útfelület) volt megtalálható, vagy pedig szemmel láthatóan el voltak tömődve a burkolat pórusai.
- Szennyezésnek kevésbé kitett pontok:
Ebbe a kategóriába pedig az olyan mérési pontok kerültek, melynek környezetében nem volt jelentősebb szennyező forrás, vagy a pórusaik szemmel láthatóan tiszták, eltömődés mentesek voltak.

Azt, hogy az adott mérési pont melyik kategóriába sorolható, a helyszíni tapasztalatok alapján döntöttem el.

6 Eredmények és értékelésük

Az alábbiakban a 2020-ban végzett mérések eredményeit vetem össze az új 2021-es mérési eredményekkel. Megvizsgálom, hogy a korábban a mérési eredményeimre illesztett exponenciális összefüggés, hogyan változik annak függvényében, hogyha új mérési eredményekkel egészítem ki az összefüggést.

A 2021-es nyári mérések alkalmával számos mérési helyszínen bővítésre került a mérési pontoknak a száma. Ezeknek az új mérési pontoknak az eredményeit felhasználva, megvizsgálom a vízáteresztő képesség egyes helyszíneken belüli területi változékonyságát.

Továbbá megvizsgálom a szimpla- és dupla gyűrűs mérési módszer által kapott eredmények értékeit. Az összehasonlítás során számos kérdés felmerült, melyek alapján célszerűnek láttam a korábban az egyes mérési pontokon végrehajtott korábbi méréseimnek a további vizsgálatát.

6.1 Illesztett görbék változásának a vizsgálata öntött gumi és szórt kavics burkolatok esetében

Az alábbiakban az új mérési eredményekkel kiegészített vízáteresztő képesség időbeli alakulásának leírását közelítő görbék kerülnek bemutatásra az egyes ábrákon, valamint ezen közelítő görbéknek egyenletei.

Öntött gumi burkolatok

A 11. - a) ábrán az öntött gumi burkolatok mérési eredményei láthatóak a burkolatok korának a függvényében ábrázolva a szennyezésnek jobban, illetve kevésbé kitett pontok alapján elkülönítve, valamint a vízáteresztő képesség időbeli alakulásának leírását közelítő görbék az új mérési eredményekkel kiegészítve, eltérő színnel jelölve a 2020-as és 2021-es mérési pontokat. A 11. – b) ábrán a korábbi (csak 2020-as) mérési eredmények és a hozzájuk tartozó közelítő görbék látszanak. A 11. - b) ábra a könnyebb összehasonlíthatóság érdekében került ábrázolásra.

Az alábbi összefüggések az új görbékre vonatkoznak, melyek mindkét év mérési eredményeit tartalmazzák:

- A kevésbé szennyezett burkolatok esetében az alábbi közelítő összefüggést kaptam a burkolat kora és a vízáteresztő képességi együtthatója között:

$$k_b = 27282 * e^{-0,88 * T} \quad (4)$$

A görbe illeszkedése megfelelő, a determinációs együttható: $R^2=0,79$.

- A szennyeződésnek jobban kitett burkolatok esetében pedig az alábbi közelítő összefüggést kaptam:

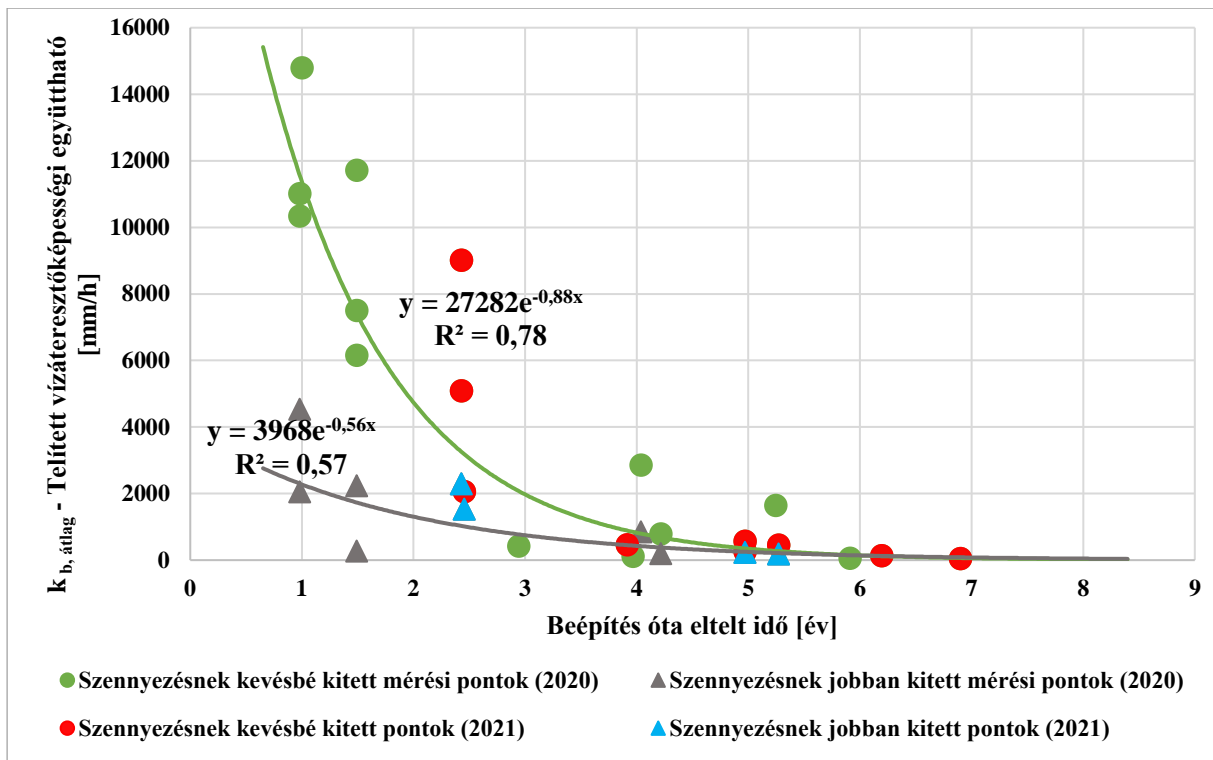
$$k_b = 3968 * e^{-0,56 * T} \quad (5)$$

A determinációs együttható értéke: $R^2=0,57$.

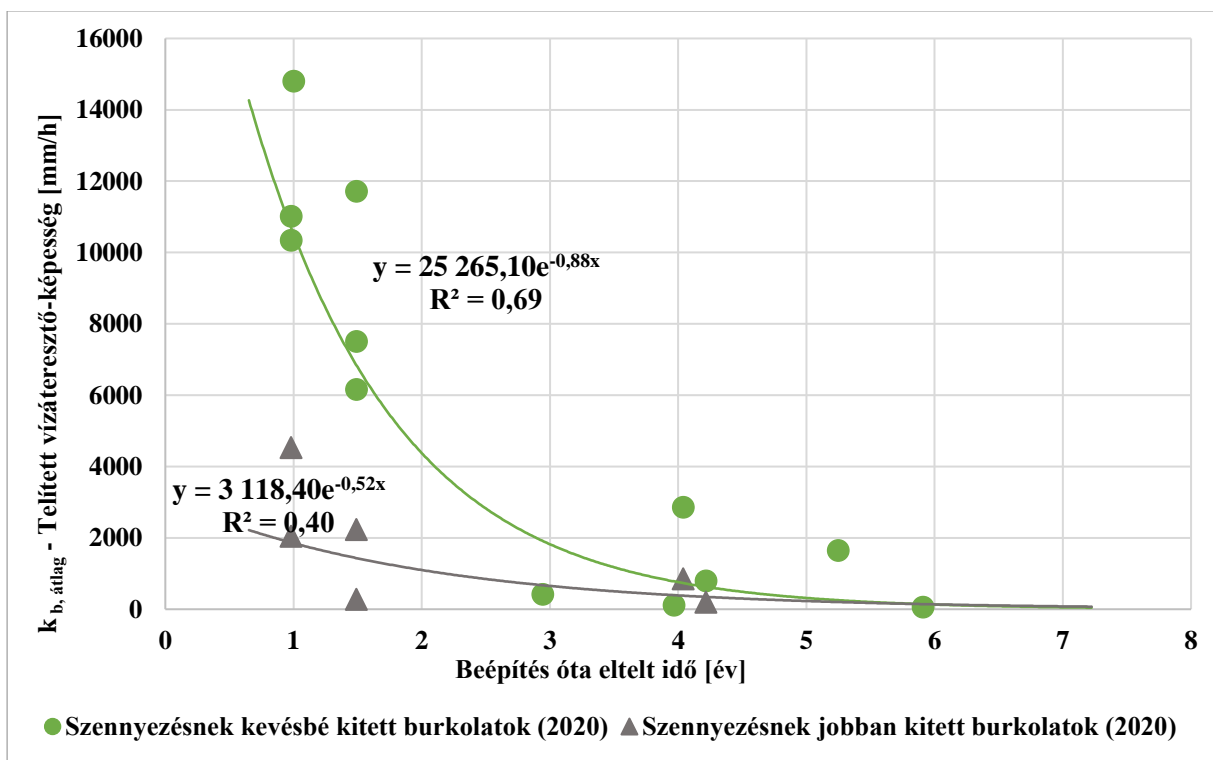
A korábbi görbék egyenleteit itt külön nem részletezem, azoknak az értéke a 11. – b) ábráról leolvasható.

A 11. ábra alapján azt mondhatjuk, hogy a mérési pontoknak a sűrítésével a görbéknek az időbeli lefutása némileg változik, de nem jelentősen. A felírt egyenletek alapján pedig azt mondhatjuk, hogy a görbék determinációs együtthatóinak értéke növekedett mindkét esetben, amely azt jelenti, hogy a görbéknek az illeszkedése pontosabb lett. Továbbá a görbék alaki paramétereiben is növekedés következett be, melynek következtében a burkolatok kezdeti vízáteresztő képességét nagyobbra fogják becsülni. A szennyezésnek kevésbé kitett burkolatok esetében az exponenciális tag kitevője változatlan maradt, míg a szennyezésnek jobban kitett mérési pontok esetében növekedett. Az összefüggések alapján az egymást követő két év vízáteresztő képességi együtthatójának csökkenése százalékos arányban kifejezve:

- a szennyezésnek kevésbé kitett burkolatok esetében 59 % a korábbi és az új összefüggés alapján is, tehát változatlan maradt;
- a szennyezésnek jobban kitett burkolatok esetében viszont a korábbi 43 %-os csökkenés mértéke 41%-ra változott, tehát a csökkenés becsült sebessége kisebb lett, azonban nem jelentős mértékben.



a)



b)

11. ábra A burkolatok felszínének időbeli eltömődését leíró görbe, a szennyezésnek jobban, illetve kevésbé kitétt mérési pontok alapján elkülönítve, öntött gumi burkolatok esetében a) 2020-as és 2021-es mérési eredmények alapján b) csak a 2020-as mérési eredmények alapján

Szórt kavicsburkolatok

A 12. - a) ábrán szórt kavics burkolatok (2020 és 2021-es) mérési eredményei láthatóak a burkolatok korának a függvényében ábrázolva a szennyezésnek kevésbé kitett helyszínek estében, valamint a vízáteresztő képesség időbeli alakulásának leírását közelítő görbe az új mérési eredményekkel kiegészítve, eltérő színnel jelölve a 2020-as és 2021-es mérési pontokat. A 12. – b) ábrán a korábbi (csak 2020-as) mérési eredmények és a hozzájuk tartozó közelítő görbe látható. A 12. - b) ábra szintén a könnyebb összehasonlíthatóság érdekében került ábrázolásra.

A szórt burkolatok esetében csak a szennyezésnek kevésbé kitett pontokra illesztettem közelítő görbét, ugyanis a szennyezésnek jobban kitett pontokból nem állt rendelkezésemre még elegendő adat, ahhoz, hogy görbét illeszthessek rájuk.

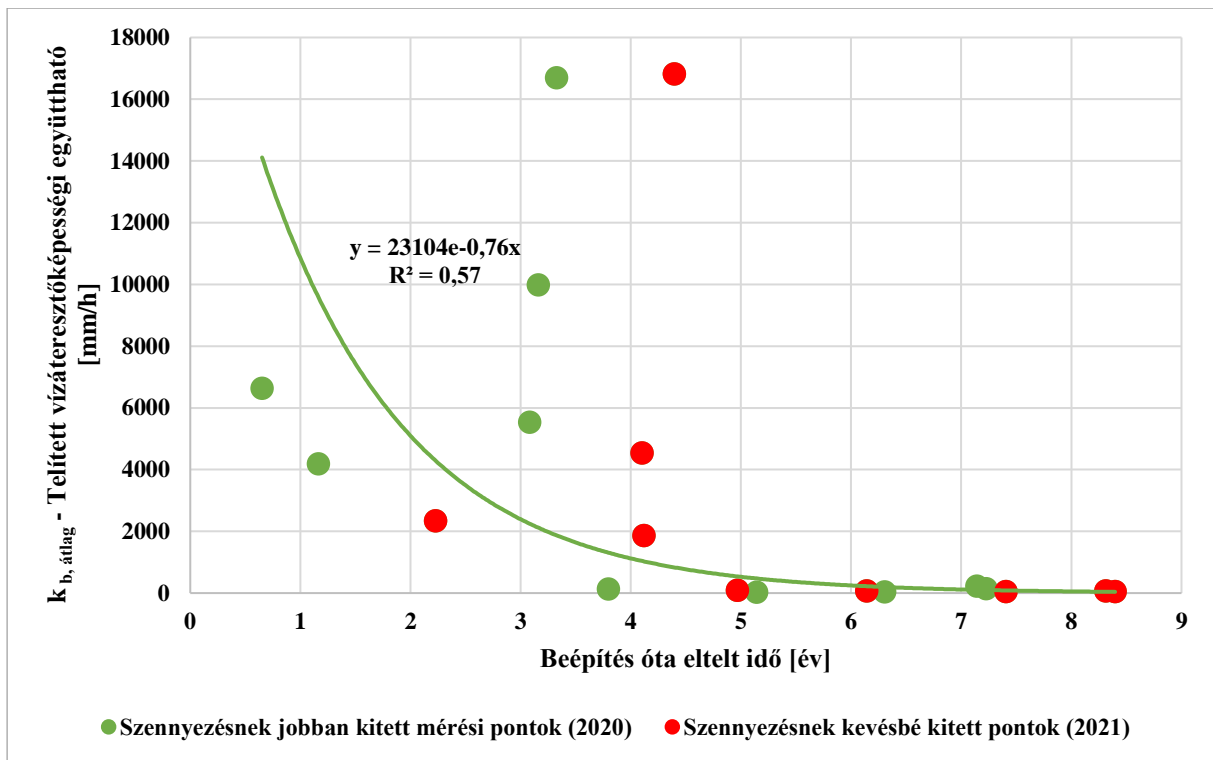
Így a kevésbé szennyezett burkolatok esetében az alábbi közelítő összefüggést kaptam a burkolat kora és a vízáteresztő képességi együtthatója között:

$$k_b = 23104 * e^{-0,76 * T} \quad (6)$$

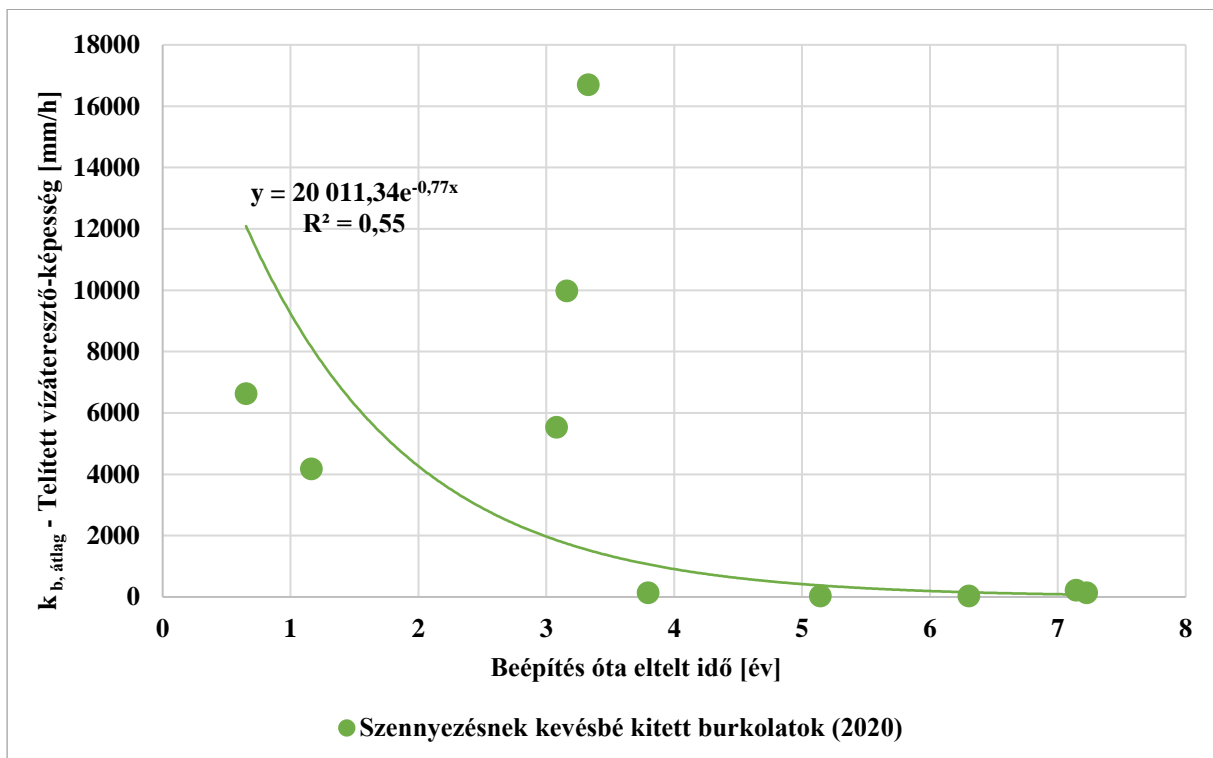
A görbe illeszkedése megfelelő, a determinációs együttható: $R^2=0,57$.

A korábbi görbe egyenletét itt külön nem részletezem, az értéke a 12. – b) ábra alapján leolvasható.

A 12. ábra alapján hasonló eredményeket láthatunk, mint az öntött gumi burkolatoknak az esetében, ugyanis a mérési adatoknak a sűrítésével a görbének a lefutása szintén megváltozik. Jelen esetben azonban a változás szemmel láthatóbb, a görbének a kezdeti lefutása alapján az első és második évhez tartozó vízáteresztő képességi együtthatóknak az értéke körülbelül 1000 mm/órás értékkel feljebb tolódik, míg a görbének az ellaposodó része nem változik meg jelentősen. A felírt egyenlet alapján pedig azt mondhatjuk, hogy az illeszkedése a szórt kavicsburkolatok esetében is javult, ugyan kisebb mértékben, mint az öntött gumi burkolatoknál. Az összefüggés alaki paramétereit tekintve pedig az egyik paraméter növekedett, míg a kitevőben lévő paraméter kis mértékben ugyan, de csökkent. Az összefüggések alapján az egymást követő két év vízáteresztő képességi együtthatójának csökkenése százalékos arányban kifejezve a szennyezésnek kevésbé kitett burkolatok esetében a korábbi 47 %-os csökkenés mértéke 46%-ra változott, amely azt jelenti, hogy a csökkenés becsült sebessége ebben az esetben is kisebb mértékű lett, azonban csupán csekély mértékben.



a)



b)

12. ábra A burkolatok felszínének időbeli eltömődését leíró görbe, a szennyezésnek kevésbé kitétt szórt kavicsburkolatok mérési pontjainak esetében a) 2020-as és 2021-es mérési eredmények alapján b) csak a 2020-as mérési eredmények alapján

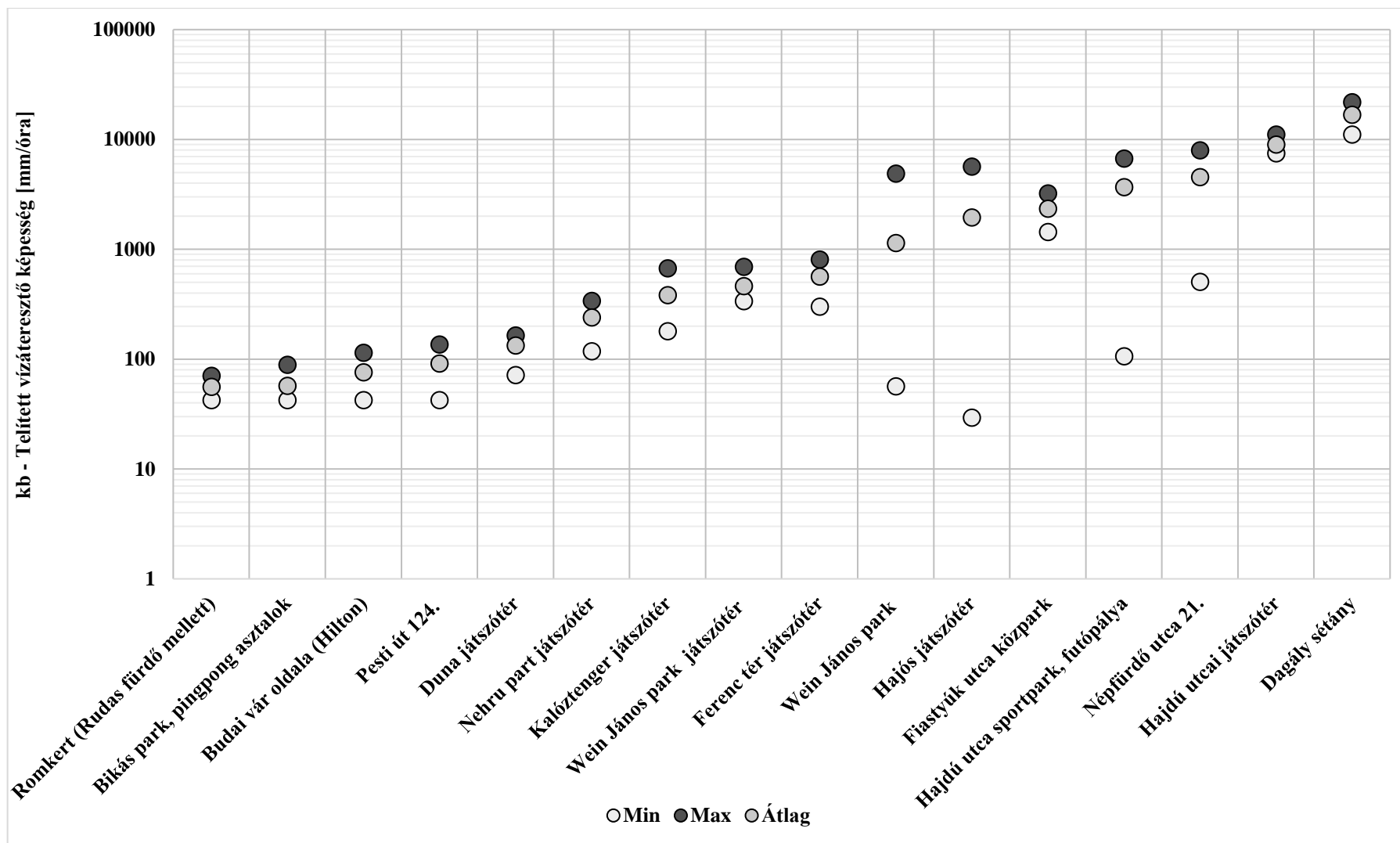
6.2 A vízáteresztő képesség egy helyszínen belüli területi változékonyságának értékelése

A 13. számú ábra az egyes helyszíneken végzett 2021-es mérések minimumát, maximumát és átlag értékeit mutatja meg, olyan helyszínek esetében, ahol legalább 3 különböző mérési pontban történt a vízáteresztő képességi együtthatónak a mérése. A függőleges tengelyen a vízáteresztő képességi együttható látható egy logaritmikus skálán ábrázolva, mm/óra mértékegységben, a vízszintes tengelyen pedig az egyes helyszínek láthatóak.

A 13. ábra alapján azt láthatjuk, hogy akár egy-egy helyszínen belül is jelentős eltérések lehetnek a burkolat felületének a vízáteresztő képességében. Egyes helyszínek esetében nincsen nagyságrendi különbség a vízáteresztő képességi együtthatók értékében, a minimum, maximum és az átlag értékei viszonylag közel vannak egymáshoz. Azonban több helyszín esetében is látható, hogy az egyes mérési pontokon mért vízáteresztő képességnek az értékeiben egy vagy akár kettő nagyságrendnyi különbség is lehet.

Emiatt a területi változékonyság miatt merült fel korábban, hogy az egyes mérési pontok közt különbséget kell tenni az alapján, hogy mekkora szennyezettségnek van kitéve. A terepi tapasztalatok alapján így korábban az egyes pontokat két kategóriába soroltam: szennyezésnek jobban és szennyezésnek kevésbé kitétt mérési pontok.

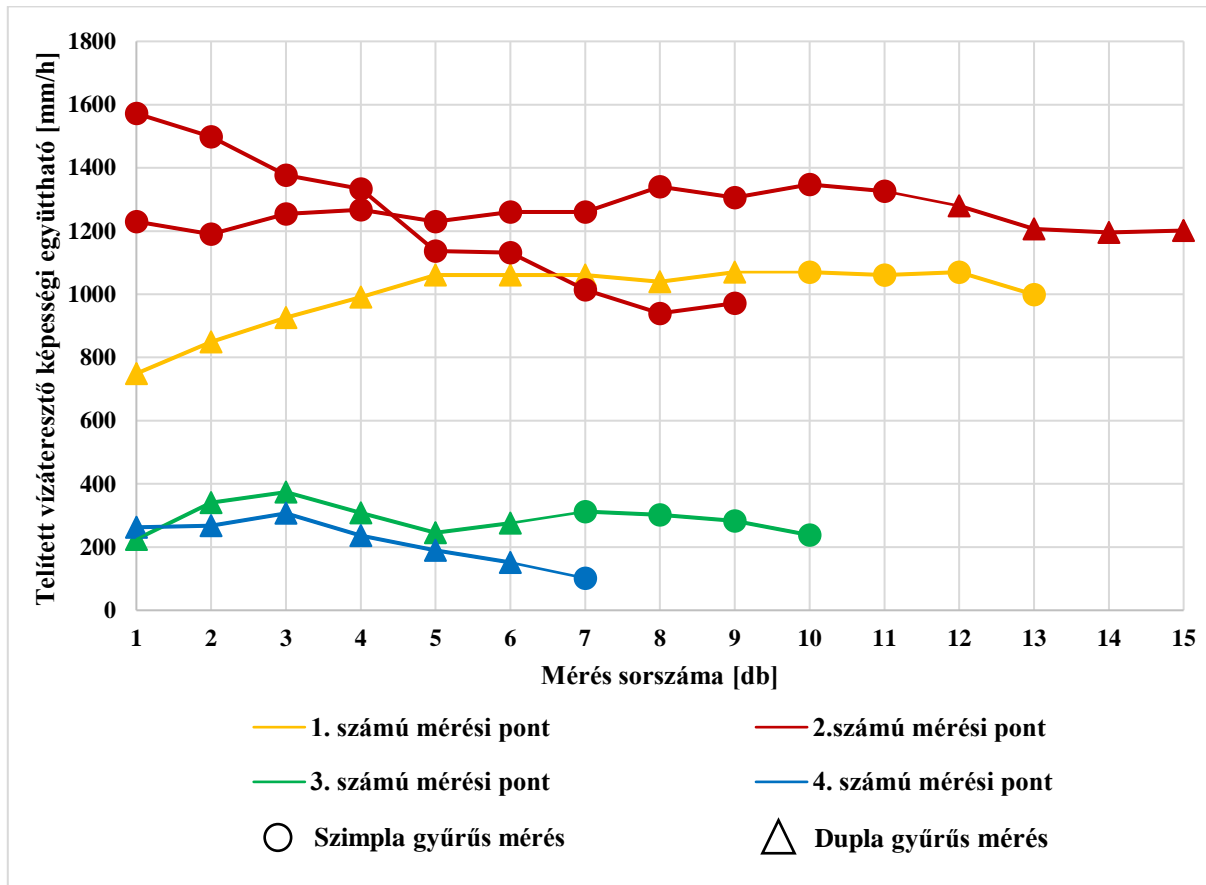
Ezen eltérések alapján azt mondhatjuk, hogy egy-egy nagyobb felületű burkolaton tetszőlegesen kiválasztott mérési pontok szabvány szerinti mérése bizonytalanul jellemzi a teljes felületnek az átlagos vízáteresztő képességi együtthatóját. Így például állapotfelmérés céljából végzett mérések alkalmával körültekintően kell megválasztani a mérési pontjainknak a számát és alapos megfontolást igényel, hogy abból milyen következtetéseket vonhatunk le. Ahhoz, hogy az egyes mérési pontokon érvényesülő területi változékonyságnak az okai megállapíthatóak legyenek további kutatás szükséges.



13. ábra A 2021-ben végzett mérések minimum, maximum és átlag értékei helyszínenként ábrázolva, az átlagos vízáteresztő-képességi együtthatók szerint sorba rendezve

6.3 Szimpla és dupla gyűrűs mérési módszer összehasonlítása

A 14. számú ábra a szimpla és dupla gyűrűs mérések eredményeit mutatja be ugyanazon helyszín különböző pontjaiban. .



14. ábra A szimpla- és dupla gyűrűvel végzett mérési sorozatok eredményei, különböző színnel ábrázolva a négy mérési pontot, kör alakú jelölő jelzi a szimpla gyűrűvel elvégzett méréseket, háromszög alakú jelölő jelzi a dupla gyűrűvel elvégzett méréseket

Az ábra alapján több dolgot is láthatunk, de vegyük szemügyre először azt, hogy az egyes mérési pontokhoz tartozó görbék közt itt is nagyságrendi különbségeket figyelhetünk meg. Az 1. és 2. számú mérési pontokban a vízáteresztő képességi együttható 1000-1200 mm/óra körüli értéket vesz fel, míg a 3. és 4. számú mérési pontokon ez az érték mindössze 200-400 mm/óra körüli. Ezek az eltérések szintén arra utalnak, hogy egy helyszínen belül jelentős területi változékonyság lehet.

Az 1. számú ponton először dupla majd pedig szimpla gyűrűvel végeztünk méréseket. A mért görbét szemügyre véve azt láthatjuk, hogy a vízáteresztő képességnek az értéke egészen az 5. számú mérésig növekszik, majd egy közel konstans érték körül mozog.

A 2. számú ponton a szimpla gyűrűvel elkezdett, majd pedig dupla gyűrűvel folytatott mérési sorozat görbéjén azt láthatjuk, hogy kisebb-nagyobb eltérésekkel, de egy közel konstans érték

körül szóródik a vízáteresztő képesség. Két hét elteltével ugyanezen ponton szimpla gyűrűvel mértünk újabb sorozatot, amiből két dolgot észleltünk: (1) kezdetben nagyobb vízáteresztő képességeket mértünk, mint a korábbi méréssorozatnál, (2) ebben az esetben a vízáteresztő képesség értéke folyamatosan csökkent.

A 3. számú mérési ponton először dupla majd pedig szimpla gyűrűvel mértünk. A mért vízáteresztő képesség a 3. számú mérésig növekszik, majd pedig egészen az 5. mérésig csökken, majd ugyanez a növekvő és utána csökkenő folyamat megismétlődik.

A 4. számú mérési ponton először szintén dupla majd pedig szimpla gyűrűvel mértünk. Ez esetben pedig szintén azt láthatjuk, hogy a 3. számú mérésig a vízáteresztő képesség értéke növekszik, majd ezután egészen az utolsó mérésig csökken az értéke.

Az egyes mérési sorozatokat tekintve tehát több folyamatot és hatótényezőt is észlelhetünk. Az egymás utáni méréseknél a vízáteresztő képesség csökkenését okozhatja, hogy a burkolati réteg még nem volt kellőképpen átnedvesítve, és amíg a burkolat nem nedvesedik át teljesen, addig a Horton-görbe víznyelési szakaszát mérjük (lásd 5. fejezet). A vízáteresztő képesség növekedését pedig okozhatja, hogy az egymást követő méréseknek átmosó hatása lehet egymásra nézve. Valamint a már említett konstans érték körüli szórás pedig az egyes méréseknek a bizonytalanságát fejezi ki.

A mérési eredmények alapján számos bizonytalanság és kérdés merül fel, melyek alapján nem lehet egyértelműen eldönteni a szimpla és dupla gyűrűs módszerek közti különbséget.

6.4 Az egyes mérési pontok eredményeinek értékelése

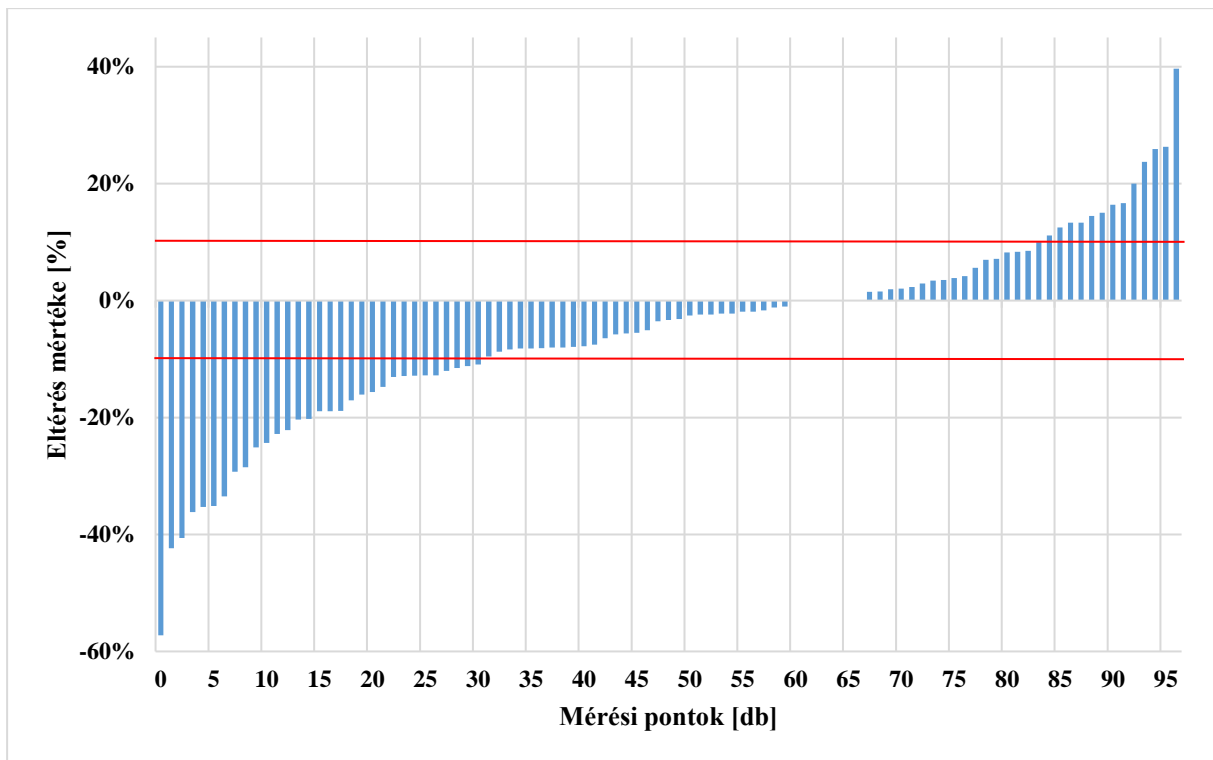
A 6.3 alfejezetben részletezett mérési bizonytalanságok miatt célszerűnek láttam az új, valamint a korábbi mérési pontjaimnak is a vizsgálatát abból a szempontból, hogy az egyes mérési pontokon egymás után végrehajtott két mérés között milyen irányú és mekkora volt az eltérés, azaz, hogy a második mérés során a vízáteresztő képesség értéke az első méréshez képest csökkent-e vagy növekedett.

A 15. ábra ennek az értékelésnek az eredményeit mutatja be. A 15.a) ábra függőleges tengelyén a második mérés eredményének százalékos eltérése látható az első méréshez képest. Ha ez az érték negatív, akkor a vízáteresztő képesség értéke csökkent, ha pedig pozitív, akkor az értéke növekedett az első mérés értékéhez képest. A vízszintes tengelyen pedig a mérési pontok láthatóak az eltérés mértéke szerint növekvő sorrendben. Piros vonallal pedig a +10 és -10%-hoz tartozó hibahatárt jelöltem. A 15.b) ábrán pedig az azonos ponton mért eltérések eloszlása látható hisztogram formájában.

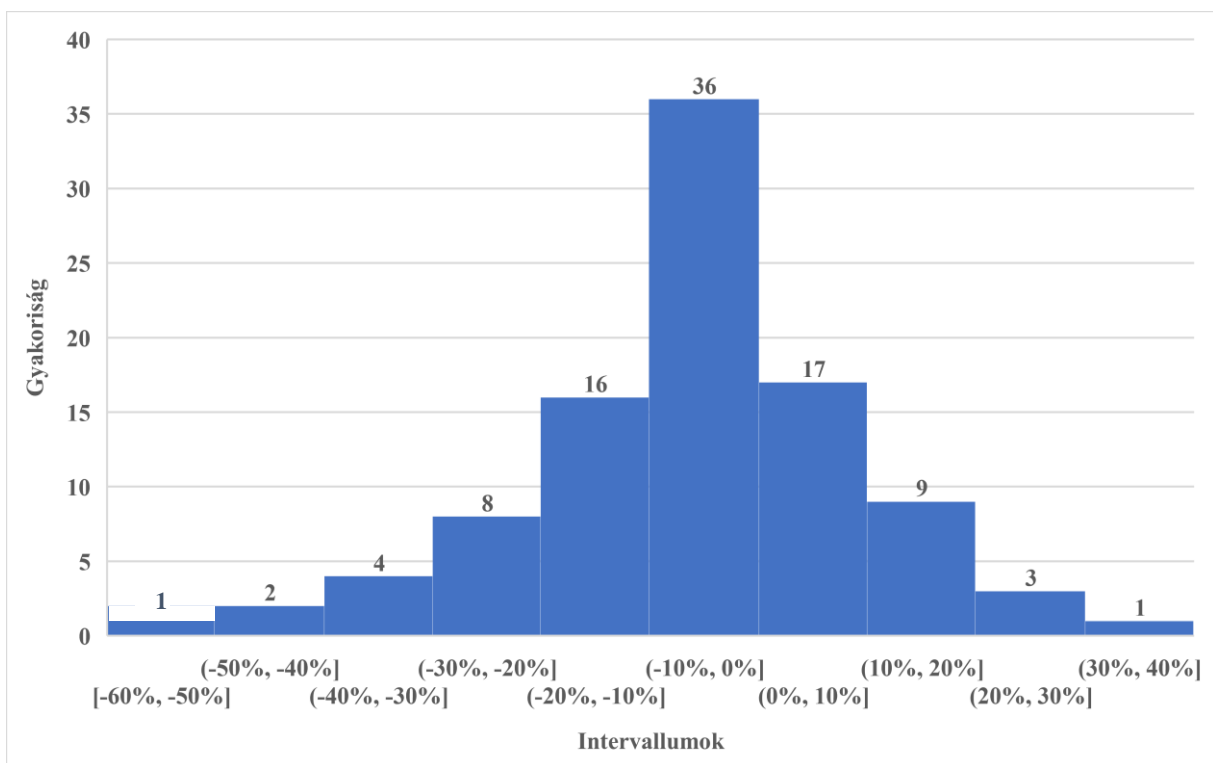
Az a) ábra alapján azt láthatjuk, hogy az egy pontban elvégzett első és második egymás utáni mérések közt a pontok 94 %-ában eltérés tapasztalható. Az esetek többségében (60 mérési pont esetében) a vízáteresztő képesség mértéke csökkent, míg 30 mérési pontban növekedett. 6 mérési pont esetében a két mérés eredménye megegyezett. A százalékos eltérések szórásának értéke: 16 %, a vízáteresztő képesség eltéréseinek minimum értéke -57%, a maximum értéke pedig 40 %.

A b) ábra alapján pedig azt láthatjuk, hogy a méréseknek a többsége a -10 és 0 % közti intervallumba esik, illetve közel egyenletesen szóródnak mind a negatív, mind pedig a pozitív irányba. Továbbá a méréseknek az 55%-a a tíz százalékos hibahatáron belülre esik, azonban ez az érték akkor lenne kellőképpen megbízhatónak tekinthető, ha magasabb arányban esnének ezen hibahatár alá a mérések vízáteresztő képességének értékei. A cél az lehetne tehát, hogy a megbízható méréseknek a számát növeljük.

Ezen adatok szintén megerősítik azt a feltevést, miszerint akár egy-egy adott mérési pont esetében a szabvány szerinti mérés bizonytalanul jellemzi a vízáteresztő képességi együtthatót. Ez további vizsgálatok szükségességét is megerősíti e kérdésben.



a)



b)

15. ábra a) Az egyes mérési pontokon végzett 1. és 2. számú mérések egymáshoz képest való eltérése b) A mérések eltérésének gyakorisága

7 Összegzés és további kutatási irányok

A vízáteresztő burkolatokat egyre több országban alkalmazzák világszerte, hazánkban is egyre több városon belüli beépítéssel találkozhatunk. Budapesten műgyantával stabilizált szórt kavics burkolatok és öntött gumi burkolatok formájában találkozhatunk velük.

Ezen burkolatok egyik legfontosabb tulajdonsága a felszíni vízáteresztő képességük, amely a felületüket érő szennyezőanyag terhelések hatására azonban könnyen eltömődhet, ezért fontos, hogy rendszeres mérésekkel nyomon kövessük a vízáteresztő képességük időbeli változását.

A kutatás során 18 fővárosi helyszín került kiválasztásra, ahol felszíni beszivárgási tesztekét végeztünk 2020 és 2021 között. A dolgozatban ezen mérések eredményeit felhasználva felmérésre került a burkolatok vízáteresztő képességének jelenlegi állapota, valamint a korábbi és az új mérések eredményei összehasonlításra kerültek. Továbbá megvizsgáltuk a szimpla és a dupla gyűrűs mérési módszerek milyen különbséget eredményeznek a burkolatok vízáteresztő képességének mérése során.

A 2020-ban végzett mérések eredményei összevetésre kerültek az új 2021-es mérések eredményeivel a mérési eredményekre illesztett exponenciális összefüggésnek a segítségével. A korábbi mérési eredményeimet kibővítve az új mérési eredmények értékeivel újra felírtam az exponenciális összefüggést és felrajzoltam a vízáteresztő képesség időbeli alakulásának leírását közelítő görbéket. Az öntött gumi burkolatok esetében két görbe került illesztésre a szennyezésnek kevésbé, valamint a szennyezésnek jobban kitett pontokra. A szórt kavics burkolatok esetében pedig csak a szennyezésnek kevésbé kitett pontok esetében illesztettem görbét. Mindegyik görbe esetében javult a mérési pontok illeszkedése, valamint az alaki paraméterek megváltoztak, melynek következtében a kezdeti vízáteresztő képességnek az értékét felülbecslik a korábbi összefüggéshez képest.

A 2021-es nyári mérések alkalmával számos mérési helyszínen bővítésre került a mérési pontoknak a száma, így lehetőséget adott arra, hogy az egyes helyszíneken belüli vízáteresztő képesség területi változékonyságát megvizsgáljam. A vizsgálat rámutatott arra, hogy akár egy-egy helyszínen belül is jelentős eltérések lehetnek a burkolat felületének a vízáteresztő képességében, amely az értékét tekintve egy vagy két nagyságrend is lehet.

A Bikás parkban található Kalóztenger játszótéren négy mérési pontban végeztünk szimpla- és dupla gyűrűs infiltrációs tesztet egyaránt. Az egyes mérési sorozatoknak az összehasonlítása során eltérő hatótényezőket és folyamatokat észleltünk. Az egyes mérési pontok vízáteresztő

képessége közt nagyságrendbeli különbségeket láttunk, melyek arra utalnak, hogy egy helyszínen belül is jelentős változékonyság lehet a burkolatnak a vízáteresztő képességében.

Az egyes mérési sorozatokhoz tartozó görbék alapján pedig azt láttuk még továbbá, hogy a vízáteresztő képesség néhol csökken, néhol pedig növekszik, akár egy mérési sorozaton belül is. Az egymás utáni méréseknél a vízáteresztő képesség csökkenését okozhatja, hogy a burkolati réteg még nem volt kellőképpen átnedvesedve. A vízáteresztő képesség növekedését pedig okozhatja, hogy az egymást követő méréseknek átmosó hatása lehet egymásra nézve. Az egyes görbéknél még láthattunk egy konstans érték körüli szóródást is, amely az egy mérési ponton belüli méréseknek a bizonytalanságát fejezheti ki.

Ezen bizonytalanságok alapján azt mondhatjuk, hogy egy-egy nagyobb felületű burkolaton tetszőlegesen kiválasztott mérési pontok szabvány szerinti mérése bizonytalanul jellemzi a teljes felületnek az átlagos vízáteresztő képességi együtthatóját, illetve adott esetben magának a mérési pontnak is. Ahhoz, hogy az egyes mérési pontokon érvényesülő tényleges hatások erősségét értékelni tudjuk, további mérések elvégzésére lenne szükség.

A mérési eredmények és a számos felmerült bizonytalanság, valamint további kérdések alapján, nem lehet egyértelműen eldönteni a szimpla- és dupla gyűrűs módszerek közti különbséget. *Érdemes lenne azonban a kutatás folytatásaként tovább vizsgálni ezt a kérdést, de egy új burkolat esetében, amely még nem szennyezett.*

A szennyezések vízáteresztő képességet csökkentő, valamint az átmosódás növelő hatása leginkább laboratóriumi körülmények közt lenne kimérhető, ahol a körülményeket megfelelőképpen kontrollálni tudjuk, amely a kutatásnak egy új lehetséges irányát adhatja.

A mérések során felmerült bizonytalanságok miatt célszerűnek láttam, hogy a korábbi, valamint az új mérési pontokban végzett egymás utáni (azonos ponton végzett) méréseket megvizsgáljam. Az egymás után elvégzett első és második mérések közt a pontok 94 %-nál eltérés volt tapasztalható. A mérési eltérések 55 %-a $\pm 10\%$ -os hibahatáron belülre esett.

Ezek szintén megerősítik azt a feltevést miszerint, akár egy-egy adott mérési pontnak az esetében a szabvány szerinti mérés bizonytalanul jellemzi a pontnak a vízáteresztő képességi együtthatóját. *Valamint a további vizsgálatoknak a szükségességét is megerősíti e kérdésben.*

Köszönet nyilvánítás

Szeretném megköszönni konzulenseimnek Varga Laurának, Ács Tamásnak és Decsi Bencének, hogy a kutatás alatt támogatták a munkámat, folyamatosan hasznos szakmai tanácsokkal és észrevételekkel láttak el, valamint a terepi mérések során is rengeteg segítséget nyújtottak számomra. Jelen tanulmány nélkülük nem jöhetett volna létre.

Köszönettel tartozom családom és barátaim számára is, akik a terepi mérések során elkísértek és segítettek a munkámat.

Az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-21-2 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

Felhasznált források

- [1] Almási Balázs, Csizmadia Dóra. 2016. ZÖLDINFRASTRUKTÚRA FÜZETEK 1.: VÍZÁTERESZTŐ BURKOLATOK - Vízáteresztő burkolattípusok alkalmazásának útmutatója. Budapest Főváros Városépítési Tervező Kft.
- [2] American Society of Civil Engineers (ASCE). 2013. Permeable Pavements. Recommended Design Guidelines.
- [3] B. Woods, Ballard;S.wilson, H. Udale-Clarke, S. Illman, T. Scott, R.Ashley;R.Kellager. CIRIA. 2015. The SuDS Manual.
URL: <https://www.ciria.org/CMDownload.aspx?ContentKey=14d9414a-8ae9-4ba5-b62e-5779cc392015&ContentItemKey=a97fe153-1306-4a4c-b1ff-f11d6bb99f28>
- [4] Bean, Eban Z., William F. Hunt, David A. Bidelspach, and Jonathan T. Smith. 2004. Study on the Surface Infiltration Rate of Permeable Pavements, prepared for Interlocking Concrete Pavement Institute. Raleigh, N.C.: North Carolina State University Biological and Agricultural Engineering Department. URL: <http://socwisconsin.org/wp-content/uploads/2012/10/ICPIreport2004.pdf>
- [5] Borgwardt. S. 2006. Long-term in-situ infiltration performance of permeable concrete block pavement. In: Proc. of the eighth int. conf. on concrete block paving. San Fransisco, California. USA. URL:
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.365.9174&rep=rep1&type=pdf>
- [6] Buzás Kálmán. 2015. Települési csapadékvíz-gazdálkodási útmutató: A jó gyakorlat. BME. Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék.
- [7] Buzás Kálmán. 2015. Víz a városban: alkalmazkodás a klímaváltozáshoz. BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék.
- [8] Csizmadia Dóra. 2018. ZÖLDINFRASTRUKTÚRA FÜZETEK 3.: VÍZÉRZÉKENY TERVEZÉS A VÁROSI SZABADTEREKEN. Budapesti Fővárosi Főpolgármesteri Hivatal.
- [9] Dulovics Dezsőné, Dulovics Dezső. 2005. A csapadékterhelés hatásai és csökkentésük egyes módszerei. MaSzeSz Hírcsatorna 9-10.Sz.
- [10] FEBESTRAL. 2008. Dalles gazon en béton - Un revêtement tout en verdure. URL: <http://febe.be/frontend/files/userfiles/files/Andere%20Publicaties/publication-techniques/Les%20dalles%20gazon.pdf>

- [11] Ferguson, B.K. 2006. Porous Pavements The Making of Progress in Technology and Design. 8th International Conference on Concrete Block Paving. San Francisco. California USA. URL: <http://www.sept.org/techpapers/1290.pdf>
- [12] Gáspár László. 2017. A közlekedési felületek és a légköri csapadék. ÚTÜGYI LAPOK; 5. ÉVFOLYAM, 2. SZÁM
- [13] Gayer J., Ligetvári F. 2007. Települési vízgazdálkodás csapadékvízvezetés. Környezetvédelmi és Vízügyi minisztérium.
- [14] Horton, R. E. 1933. The role of infiltration in the hydrologic cycle. Trans. Am. Geophys. Union. 14th Ann. Mtg. 446–460.
- [15] Interlocking Concrete Pavement Institute (ICPI). 2006. Permeable Interlocking Concrete Pavements - Selection, Design. Construction, Maintenance. URL: http://www.idealconcreteblock.com/tl_files/pages/designers/know-green/PICP_Manual_3rd_edition.pdf
- [16] IPCC. 2014: Annex II: Glossary [Mach, K.J., S. Planton and C. von Stechow (eds.)]. In: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 117-130.
- [17] Isabelle Braud¹, Jean-François Desprats, Pierre-Alain Ayrat , Christophe Bouvier , Jean-Pierre Vandervaere. 2017. Mapping topsoil field-saturated hydraulic conductivity from point measurements using different methods. J. Hydrol. Hydromech.
- [18] CERIB. 2017. Éléments modulaires en béton pour revêtement des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales - Référentiel technique. URL: <http://www.cerib.com/wp-content/uploads/2017/05/353-e-v2-elements-modulaires-beton-pour-revetement-ouvrages-infiltration.pdf>
- [19] Kelly Diane Hill, Simon Beecham. 2018. The Effect of Particle Size on Sediment Accumulation in Permeable Pavements. Water. 10. 403.
- [20] Köles Péter. 2011. Települési csapadékvíz gazdálkodás, Szent István Egyetem. Egyetemi jegyzet.
- [21] Lee J., Borst M., Brown R., Rossman L., Simon M.. 2015. Modeling the Hydrologic Processes of a Permeable Pavement System. Journal of Hydrologic Engineering. Vol. 20, No. 5.
- [22] Lucke T., Dierkes C. 2015. Addressing the Demands of the New German Permeable Pavement Design Guidelines and the Hydraulic Behaviour of a New Paving Design. Journal of Engineering Science and Technology Special Issue on ACEE 2015 Conference August. 14

–
28. URL: http://jestec.taylors.edu.my/Special%20Issue%20ACEE%202015/UTM_ACEE_014-028.pdf

[23] Mari E. Danz, William R. Selbig, Nicolas H. Buer. 2020. Assessment of Restorative Maintenance Practices on the Infiltration Capacity of Permeable Pavement. *Water*.

[24] Mostafa Razzaghmanesh, Simon Beecham. 2018. A Review of Permeable Pavement Clogging Investigations and Recommended Maintenance Regimes. *Water*. 10. 337.

[25] North Carolina Environmental Quality (NCDEQ). 2017. Stormwater Design Manual C-5. Permeable Pavement. URL:

<https://files.nc.gov/ncdeq/Energy%20Mineral%20and%20Land%20Resources/Stormwater/BMP%20Manual/C-5%20%20Permeable%20Pavement%2004-06-17.pdf>

[26] Philip J. R. 1957. The theory of infiltration: 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations. *Soil Science* 84. 257-264.

[27] Richards, L.A. 1931. Capillary conduction of liquids through porous mediums. *Physics*. 1 (5). 318–333.

[28] Siriwardene N. R., Deletic A., Fletcher T. D. 2007. Clogging of stormwater gravel infiltration systems and filters: Insights from a laboratory study. *Water Research*, Vol. 41, No. 7, pp.1433–1440.

[29] Strausz Tímea. Vízáteresztő burkolatok vízáteresztő képesség változásának vizsgálata. 2020. BME-ÉMK-VKKT, TDK.

[30] Szabó, Norbert Péter és Dobróka, Mihály és Hursán, László. 2015. Édesvíztárolók szivárgási paramétereinek meghatározása a Csókás eljárás alkalmazásával. *Magyar Geofizika*, 56 (2). 70-82. ISSN 0025-0120.

[31] Tárczy László. 2017. Kreatív válasz a klímaváltozásra – Vízáteresztő térkövek. *Beton szakmai lap*. December XXV. évfolyam VI. szám.

[32] Útügyi Műszaki Előírás: KISELEMES BURKOLATOK. e-UT 06.03.43 számú. (jelenleg lektorálás alatt)

[33] Wisconsin Department of Natural Resources Conservation Practice Standard – Permeable Pavement (1008). URL:

<https://dnr.wi.gov/topic/stormwater/documents/1008PermeablePavement.pdf>

[34] Xinzhuang Cui, Jiong Zhang, Dan Huang, Weize Tang, Lei Wang & Fei Hou. 2016: Experimental simulation of rapid clogging process of pervious concrete pavement caused by storm water runoff. *International Journal of Pavement Engineering*.

Internetes források:

[35] <https://www.pavementinteractive.org/reference-desk/pavement-types-and-history/pavement-types/permeable-pavements/>

Felkeresés időpontja: 2021. 01.15.

[36] https://www.usgs.gov/science/evaluating-potential-benefits-permeable-pavement-quantity-and-quality-stormwater-runoff?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects

Felkeresés időpontja: 2021. 01.15.

[37] <https://www.gumitegla.hu/blog/mi-az-a-rekortan-burkolat/>

Felkeresés időpontja: 2021. 01.15.

[38] <http://ujragumi.hu/helyben-ontott-gumiburkolat.html>

Felkeresés időpontja: 2021. 01.15.

[39] <https://www.terkoakciok.hu/blog/legyen-vizatereszto-a-terko-burkolat/>

Felkeresés időpontja: 2021. 01.15.

[40] <http://www.terraaway.hu/>

Felkeresés időpontja: 2021. 01.15.

[41] <https://terraaway.eu/product-information/>

Felkeresés időpontja: 2021. 01.15.

[42] <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>

Felkeresés időpontja: 2021. 01.15.

[43] <https://ourworldindata.org/urbanization>

Felkeresés időpontja: 2021. 09.15.

[44] <https://masfelfok.hu/2020/12/15/esztetikus-okologikus-gazdasagos-kek-zold-infrastruktura-uj-szemlelet-a-varosi-csapadekviz-gazdalkodasban-i/>

Felkeresés időpontja: 2021. 09.15.

[45] <https://masfelfok.hu/2020/12/15/a-csapadek-helyben-tartasanak-eszkoztara-uj-szemlelet-a-varosi-csapadekviz-gazdalkodasban-ii/>

Felkeresés időpontja: 2021. 09.15.

[46] <https://www.cement.org/cement-concrete/paving/buildings-structures/concrete-homes/products/permeable-interlocking-concrete-pavement>

Felkeresés időpontja: 2021. 09.15.

Mellékletek

1. A mérési helyszínek részletes bemutatása

- Romkert, 1. kerület:

A burkolat egy járda felületet képez, az egykori Romkert nevű szórakozóhely előtt, a Rudas Gyógyfürdő mellett. A területet az egyik oldalról egy parkoló, a másik oldaláról pedig az egykori szórakozóhely veszi körbe, ahol jelen pillanatban egy építkezés zajlik. Az építkezésről jelentős mennyiségű finom szemcse méretű szennyezés érhet a burkolatot. Az építmény előtti két fának a burkolatát is a szórt kavics képezi. Fontos részlet továbbá, hogy a burkolat felső rétege helyenként már sérült.

- Rákóczi tér, 8. kerület:

A metróállomás körüli favermek burkolata készült vízáteresztő réteggel. A fákat körbevevő burkolat a többi burkolathoz képest egyedi kialakítású, ugyanis a szórt kavics burkolat mellett a külső részen kockakő található, melynek a fuga közeit is az előbbi anyagával töltötték ki. A mérések a szórt kavics burkolat felületén történtek, nem a kockakővel borított részen.

- Bikás park, 11. kerület:

A parkban található pingpongasztalok alatti burkolatot mértem. A burkolat már szemmel láthatóan el volt tömődve. Körülötte zöld felületek vannak, ahonnan könnyen átkerülhet a burkolat felületére a por, szerves anyagok, illetve az egyéb szennyeződések.

- Laktanya utca park, 3. kerület:

Itt a parkban található futópálya felülete került mérésre. A futópálya parkos környezetben található, így leginkább a zöld felületekről érkező por és egyéb szennyeződések érhetik, valamint a körülötte lévő fákról lehulló szerves törmelék. A burkolat felső rétege a használatából eredően több helyen sérült volt, de ránézésre nem tűnt különösebben szennyezettnek.

- Duna játszótér, 13. kerület:

A játszótér burkolata került mérésre, melyet öntött gumi burkolat fed. A játszótér két oldalról panelházak, egyik oldaláról az út (egy parkolóval), negyedik oldaláról pedig egy parkos terület veszik körbe. A burkolatot szemrevételezve az épségét tekintve jó állapotban volt, felszíni sérüléseknek, kopásoknak nem volt nyoma. A játszótér területén található egy homokozó, amelynek környéke jobban ki van téve az eltömődésnek.

- Budai vár oldala, 1. kerület:

A Budapesti Egyetemi Katolikus Gimnázium és Kollégium mellett fekvő járda felület egy része szórt kavics burkolatot kapott, melynek felülete vízáteresztő. A járdát zöld környezet veszi körbe. A felülete szemmel láthatóan szennyezett volt, és több helyen sérült is.

- Pesti út 124., 17. kerület:

A budapesti Szentkereszt térnél található park egy része, melyet szórt kavics burkolattal láttak el. Itt a burkolat járdaként, valamint fa veremként is szolgál. A burkolatnak azon része, melyet többet használnak gyalogos közlekedésre szemmel láthatóan jobban el volt tömődve. A fák közelében pedig a burkolat néhány helyen sérültnek bizonyult.

- Kalóztenger játszótér, 11. kerület:

A Bikás parkban található a játszótér. A felületének jelentős része öntött gumi, melyek a játékok alatti területet képezik. A mérések ezen a felületen lettek végre hajtva. A burkolat felülete egy-két helyen a gyakori használatnak való kitétel miatt kopottnak mondható, de összességében nézve a felülete ép. Található egy nagy homokozó a játszótéren, ezáltal a közelében lévő burkolatok jelentős része nagyobb szennyezésnek van kitéve.

- Nehru part, 9. kerület:

Itt található egy nagyobb játszótér, melynek felülete a játékok alatt öntött gumi burkolatot kapott. A gumival borított felületek közt az összekötetést kötőanyag nélküli szórt burkolat biztosítja. A gumi burkolat felülete épnek mondható, a pórusai szemmel láthatóan nem voltak eltömődve. Nagyobb szerves törmelék borította inkább helyenként. Itt is található egy homokozó, azonban a játszótér egyik végében jól elkülönülve a többi felülettől, így ez nem okoz különösebb szennyezést az adott területen.

- Ferenc tér, 9. kerület:

Szintén a játszótér felülete kapott öntött gumi burkolatot. A Ferenc téri Közösségi Parkban található. A játszótér kör alakú, középpontjában egy szintén kör alakú homokozó felülettel. Ebből adódóan a burkolat egész felülete szemmel láthatóan homokkal borított volt, ezáltal a pórusai is eltömődöttnek látszottak.

- **Dagály sétány, 13. kerület:**
Az itt található sétány két oldalán futó téglaburkolatú járdát összekötő sáv készült szórt kavics burkolatból. A parkbútorok itt kerültek elhelyezésre, valamint néhány fa is belesik a burkolt felületbe. A burkolt felületek közt közepén növényekkel borított sáv található. A burkolat szép állapotban van, külső sérelemnek nem volt nyoma, valamint a szemmel látható szennyeződés is csekély mennyiségű volt.
- **Népfürdő utca 21., 13. kerület:**
A Vízafogó lakótelep udvarai közt található kisebb parkrész szórt kavics burkolatot kapott. A területet nevezhetjük rózsakertnek, ugyanis a burkolat mentén körben, illetve a parkrész közepére rózsákat ültettek. Maga a burkolat felülete az előbbihez hasonlóan szép állapotú, külső felületi sérelmekről mentes, valamint a pórusai szemmel láthatóan tiszták, csak nagyobb többszire növényi törmelék volt rajta.
- **Wein János park, 13. kerület:**
A Victor Hugo utcánál található a kis belvárosi park. A parkot két részre oszthatjuk. Az egyik felén található Wein János szobra, ezt a részt kisebb megszakítások jellemzik, melyek az oda ültetett növények miatt jöttek létre. A parknak ez a fele szemmel láthatóan tisztább és kevésbé eltömődött. A másik fele egy nagyobb zöld felület, mely körül járda fut. A járda felülete jóval szennyezettebb volt, valamint látszódtak a pórusok eltömődöttsége is. Ennek oka lehet, hogy ez a rész jobban ki van téve a mindennapos használatnak és sűrűbben járnak a felületen.
- **Wein János park, játszótér, 13. kerület:**
A park melletti játszótér öntött gumi burkolata is mérésre került. A felülete szemmel láthatóan szennyezett volt, melyet a burkolat körüli föld felületekről hordtak rá a gyerekek, valamint jelentős volt a fákról származó növényi törmelék mennyisége is.
- **Hajós játszótér, 13. kerület:**
A játszótér jelentős része öntött gumi burkolattal rendelkezik. A középső része, ahol a homokozó található jelentősen szennyezettebb a ráhordott homoknak köszönhetően. A külső részein is láthatunk szennyeződéseket, melyek leginkább a gumival borított felületek közti szórt kavics burkolatról származnak. A burkolat felülete épnek tűnt.

- Fiastyúk utca közpark, 13. kerület:

A Fiastyúk utca Béke utca felőli végén található közpark egy része rendelkezik szórt kavics burkolattal. A parkbútorok, valamint a fák körüli sávot borítja a vízáteresztő burkolat. Két oldalán pedig elemes burkolatból épült járda szakasz található. A burkolat felülete sérülés mentes volt, valamint pórusai tiszták.

- Hajdú utca sportpark és futópálya, 13. kerület:

Az itt található sportpark és futópálya felületét borítja öntött gumi felület. A burkolt felület mellett folyik a Rákos-patak, melynek mindkét oldalán kiépítésre került a futópálya. Mindkét oldalon történt mérés is. A futópálya és a sportpálya mellett zöld felületek találhatóak, ezek egy része természetes, egy része pedig mesterségesen kialakított. Szemmel látható eltömődések nem voltak a felületen, valamint sérülések sem, leginkább nagyobb szennyeződések voltak megtalálhatóak a felszínén.

- Hajdú utca játszótér, 13. kerület:

A játszótér felülete szintén öntött gumival burkolt. Itt nem található homokozó, sem egyéb hasonló felület. A burkolat pórusai szemmel láthatóan tiszták voltak, csak nagyobb méretű szennyeződések voltak felfedezhetőek rajta.

2. A 2020 és 2021-es szimpla gyűrűvel végzett mérések eredményei

Az egyes mérési pontokhoz tartozó vízáteresztő képességnek az értékei az alábbi táblázatokban kerülnek részletesen bemutatásra. Az egyes helyszínek különböző mérési pontjait számok, a mérési pontban elvégzett egymás utáni méréseket A és B betűk jelölik. A táblázatokban szereplő értékek az adott pontban mért vízáteresztő képesség értékei mm/órában feltüntetve.

Szórt kavics burkolatok 2020 nyári mérések													
Helyszín	Mérés időpontja	Burkolat kora	Vízáteresztő képesség értékei [mm/óra]										
			1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B	5A	5B	Átlag
Budapest, Romkert (Rudas fürdő mellett)	2020.07.04	7	245	146	39								92
Rákóczi tér, favermek	2020.07.04	7	389	327	185	132							229
Bikás park pingpong asztalok	2020.07.02	6	42		42								42
Budai vár oldala (Hilton)	2020.09.03	5	39		32								35
Budapest, Pesti út 124.	2020.07.01	4	277	160	116		146						141
Dagály sétány	2020.08.11	3	18863	16429	17562	16977							16703
Népfürdő utca 21.	2020.08.11	3	10186	10610	9431	9794							9809
Wein János park	2020.08.12	3	8214	8214	175	117	2927	2861	95	62			2814
Fiaстыúk utca közpark	2020.08.12	1	3488	3068	5787	5305							4187
Szórt kavics burkolatok 2020 Téli mérések													
Helyszín	Mérés időpontja	Burkolat kora	Vízáteresztő képesség értékei [mm/óra]										
			1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B	5A	5B	Átlag
Fiaстыúk utca közpark	2020.02.08	1	6228	5730	8185	7539							6634
Szórt kavics burkolatok 2021 nyári mérések													
Helyszín	Mérés időpontja	Burkolat kora	Vízáteresztő képesség értékei [mm/óra]										
			1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B	5A	5B	Átlag
Budapest, Romkert (Rudas fürdő mellett)	2021.09.05	8	73	55	71		42						56

Rákóczi tér, favermek	2021.09.04	8	127		30								78
Bikás park pingpong asztalok	2021.08.08	7	42		42		1886	1643	89	124	85	55	42
Budai vár oldala (Hilton)	2021.09.03	6	71		148	114	42						76
Budapest, Pesti út 124.	2021.09.02	5	136		42		110	96					91
Dagály sétány	2021.09.05	4	1107 2	1184 4	2182 7	22469	1756 2	1756 2					16820
Népfürdő utca 21.	2021.07.21	4	5197	4805	5197	4897	624	506	8214	7958			4541
Wein János park	2021.08.26	4	4897	4993	57		159	68	57		715	635	1143
Fiastyúk utca közpark	2021.09.05	2	1463	1439	2738	2380	3307	3223					2347

Szórt kavics 2020 Téli mérések

Helyszín	Mérés időpontja	Burkolat kora	Vízáteresztő képesség értékei [mm/óra]										Átlag
			1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B	5A	5B	
Hajós játszótér	2020.02.08	1	4775	4775	2187	2046	1591 5	1790 5					7579
Hajdú utca sportpark, futópálya	2020.02.08	1	5730	5847	1101 8	11018	3626	3331	1101 8	1081 1			7722
Hajdú utcai játszótér	2020.02.15	1	1685 2	1909 9	1273 2	13642	1481 8	1481 8					14801

Öntött gumi burkolatok 2020 nyári mérések

Helyszín	Mérés időpontja	Burkolat kora	Vízáteresztő képesség értékei [mm/óra]										Átlag
			1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B	5A	5B	
Laktanya utca park, futópálya	2020.08.11	6	74		39								57
Duna játszótér	2020.08.11	5	1793	2087	1543	1507							1650
Kalóztenger játszótér	2020.07.02	4	206	196	719	679	906	983					594
Nehru part játszótér	2020.08.28	4	1039	926	887	774	2861	2927					1520
Ferenc tér játszótér	2020.09.02	4	196	202	61	39							117
Wein János park, Játszótér	2020.08.24	3	513	507	365	336							422
Hajós játszótér	2020.08.12	1	3395	2894	274	340	12126	14551					5098
Hajdú utca sportpark, futópálya	2020.08.12	1	1872	1900	6529	7074	2829	2598	5787	636 6			4197

Hajdú utcai játszótér	2020.08.12	1	14551	1697 7	10610	13403	9986	11318						11716
Öntött gumi burkolatok 2021 nyári mérések														
Helyszín	Mérés időpontja	Burkolat kora	Vízáteresztő képesség értékei [mm/óra]											
			1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B	5A	5B	Átlag	
Laktanya utca park, futópálya	2021.08.07	7	69	58	62	50	2927	254 6	3351	3105	1027	89 0	1330	
Duna játszótér	2021.07.23	6	165	163	95	72	180	165					133	
Kalóztenger játszótér	2021.07.22	5	184	180	672	696	565	493	202	186			383	
Nehru part játszótér	2021.08.03	5	419	340	303	242	316	262	167	118			240	
Ferenc tér játszótér	2021.09.03	5	808	875	585	618	306	300					565	
Wein János park, Játszótér	2021.08.14	4	354	359	367	337	767	694					462	
Hajós játszótér	2021.07.30	2	29		153 4	175 6	2768	244 9	5787	5659	113	92	1952	
Hajdú utca sportpark, futópálya	2021.07.21	2	4630	4468	369 1	348 8	137	107	6701	6701			3691	
Hajdú utcai játszótér	2021.07.21	2	1107 2	1273 2	749 0	943 1	8488	943 1					9017	

3. A 2021-es szimpla és dupla gyűrűvel mért összehasonlító mérések eredményei

Mérési helyszín	Bikás park - kalóztenger játszótér	Időpont	2021.10.13	Felhasznált víz mennyisége [liter]	5	Gyűrű belső átmérője [mm]	300
1. számú mérési pont				2. számú mérési pont			
Előnedvesítés ideje				Előnedvesítés ideje			
325				174			
Dupla gyűrűvel mért				Szimpla gyűrűvel mért			
Mérés sorszáma	t [sec]	k [m/s]	k [mm/h]	Mérés sorszáma	t [sec]	k [m/s]	k [mm/h]
1	340	0,00021	749	1	207	0,00034	1230
2	300	0,00024	849	2	214	0,00033	1190
3	275	0,00026	926	3	203	0,00035	1254
4	257	0,00028	991	4	201	0,00035	1267
5	240	0,00029	1061	5	207	0,00034	1230
6	240	0,00029	1061	6	202	0,00035	1261
7	240	0,00029	1061	7	202	0,00035	1261
8	245	0,00029	1039	8	190	0,00037	1340
9	238	0,00030	1070	9	195	0,00036	1306
Szimpla gyűrűvel mért				10	189	0,00037	1347
10	238	0,00030	1070	11	192	0,00037	1326
11	240	0,00029	1061	Dupla gyűrűvel mért			
12	238	0,00030	1070	12	199	0,00036	1280
13	255	0,00028	999	13	211	0,00034	1207
				14	213	0,00033	1196
				15	212	0,00033	1201

Mérési helyszín	Bikás park - kalóztenger játszótér	Időpont	2021.10.13	Felhasznált víz mennyisége [liter]	5	Gyűrű belső átmérője [mm]	300					
3. számú mérési pont				4. számú mérési pont				2. számú mérési pont ismételt mérés				
Előnedvesítés ideje				Előnedvesítés ideje				Előnedvesítés ideje				
913				900				128				
Dupla gyűrűvel mért				Dupla gyűrűvel mért				Szimpla gyűrűvel mért				
Mérés sorszáma	t [sec]	k [m/s]	k [mm/h]	Mérés sorszáma	t [sec]	k [m/s]	k [mm/h]	Mérés sorszáma	t [sec]	k [m/s]	k [mm/h]	
1	1134	0,00006	225	1	970	0,00007	263	1	162	0,00044	1572	
2	747	0,00009	341	2	950	0,00007	268	2	170	0,00042	1498	
3	681	0,00010	374	3	830	0,00009	307	3	185	0,00038	1376	
4	827	0,00009	308	4	1080	0,00007	236	4	191	0,00037	1333	
5	1037	0,00007	246	5	1345	0,00005	189	5	224	0,00032	1137	
6	922	0,00008	276	6	1680	0,00004	152	6	225	0,00031	1132	
Szimpla gyűrűvel mért				Szimpla gyűrűvel mért					7	251	0,00028	1015
7	815	0,00009	312	7	2505	0,00003	102	8	271	0,00026	940	
8	844	0,00008	302					9	262	0,00027	972	
9	901	0,00008	283									
10	1070	0,00007	238									