



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

Vízáteresztő burkolatok vízáteresztő képesség változásának vizsgálata

Strausz Tímea

építőmérnök Bsc szakos hallgató

Konzulensek:

Varga Laura

PhD hallgató, Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék

Ács Tamás

tudományos segédmunkatárs, Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék

Tudományos Diákköri Konferencia

Budapest, 2020

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	5
1. Irodalmi áttekintés	8
1.1 Porózus beton burkolat eltömődési folyamata	8
1.2 Beton térkő burkolat eltömődési folyamata	9
1.3 A szivárgási sebesség változása a vízáteresztő burkolatok életkorának függvényében ..	10
1.4 Vízáteresztő burkolatok vízáteresztő képességére vonatkozó külföldi előírások	11
2. Vízáteresztő burkolatok általános bemutatása	13
2.1 Burkolatok típusai	14
2.2 Vízáteresztő útpályaszerkezet kialakítása	16
2.3 Vízáteresztő útpályaszerkezetek csoportosítása a csapadékvíz elvezetés módja szerint .	17
2.4 Alkalmazásuk és fenntartásuk.....	18
3. Anyag és módszer	20
3.1 Mérési helyszínek.....	21
3.2 A mérés célja, módja és eszközei.....	28
3.3 A mért helyszínek burkolata	29
3.4 A mérési pontok kiválasztása és a mérés körülményei	30
3.5 A mérés előkészítése	30
3.6 Előnedvesítés.....	30
3.7 Vizsgálat menete	31
4. A mért értékek feldolgozása	32
4.1 Mérési eredmények kiértékelése	32
4.2 Burkolat kora és vízáteresztő képességi együtthatója közötti kapcsolat vizsgálata.....	33
5. Eredmények és értékelésük	36
5.1 Összesített mérési eredmények	36
5.2 Különböző mértékű szennyezésnek kitett helyszínek összevetése	37

5.3	Nyáron és télen mért vízáteresztő képesség értékeinek összehasonlítása.....	38
6.	Görbe illesztése az eltömődésre.....	39
6.1	Öntött gumi burkolatok	39
6.2	Szórt burkolatok.....	41
7.	Görbe értékeinek összevetése a csapadékkintenzitás értékekkel.....	43
	Összegzés	45
	Köszönetnyilvánítás	47
	Felhasznált források:	48
	Mellékletek.....	52

Ábrajegyzék

1. ábra:	A beszivárgási sebesség a burkolatok életkorának függvényében ábrázolva porózus beton burkolat (PC), beton térkő (PICP) és porózus aszfalt esetén	10
2. ábra	Burkolatok csoportosítása a csapadékvíz elvezetés módja szerint: (a) teljesen elszivárogtató, (b) nem elszivárogtató, (c) részben elszivárogtató	18
3. ábra	A beszivárgás sebességének időbeli változása a Horton egyenlet alapján.....	20
4. ábra	Mérési helyszínek.....	21
5. ábra	A Kalóztenger játszótér egy részlete, öntött gumi burkolat	25
6. ábra	A Dagály sétány egy részlete, szórt burkolat	26
7. ábra	Mérőeszközök és a mérés folyamata.....	28
8. ábra	A terraway, szórt kavics burkolatok általános rétegfelépítése	29
9. ábra	A burkolatok telített vízáteresztő képessége a burkolat beépítési évének függvényében..	36
10. ábra	A burkolatok telített vízáteresztő képessége a burkolat beépítési évének függvényében, szennyezésnek jobban, illetve kevésbé kitett környezetben.....	37
11. ábra	A Hajós játszótér, Fiastyúk utca közpark, valamint a Hajdú utca sportpark és játszótér átlagos telített vízáteresztő képessége az augusztusban, februárban végzett mérések alapján	38
12. ábra	A burkolatok felszínének időbeli eltömődését leíró görbe, a szennyezésnek jobban, illetve kevésbé kitett gumi burkolatok esetében	39

13. ábra A burkolatok felszínének időbeli eltömődését leíró görbe, a szennyezésnek kevésbé kitett burkolatok esetében.....	41
14. ábra A burkolatok kora a csapadék időtartamának függvényében, a különböző visszatérési idejű csapadékok esetében	43

Táblázatjegyzék

1. Táblázat Mérési helyszínek összefoglaló táblázata.....	22
2. Táblázat A méréshez szükséges víz térfogata [liter]	31
3. Táblázat A számított t értékei [perc] a burkolat korának, és a csapadék visszatérési idejének a függvényében	35

Bevezetés

A globális éghajlatváltozás mára már világszerte tagadhatatlan jelenség, hatását hazánkban is, a mindennapi életünkben, városi szinten is érzékelhetjük. Gyakoribbá váltak a szélsőséges éghajlati jelenségek, mint például az aszályok és hőség hullámok, illetve az extrém csapadékesemények [28]. Az utóbbi évekre visszatekintve számos özönvíz szerűen lezúduló csapadékesemény következett be, melyek a városi vízrendszerek kiöntéseit okozván jelentős károkat eredményeztek a városon belül.

A korábbi tervezési gyakorlat arra törekedett, hogy a városon belül összegyűjtött csapadékvizeket minél gyorsabban, a legrövidebb úton elvezesse. Ez a szemléletmód azonban számos problémához vezetett az évek során. A csapadékvíz-gazdálkodás hiánya és a fokozódó városiasodás következtében csökken a felszíni beszivárgás és párolgás, míg a települési vízgyűjtőkről történő lefolyás növekszik. A természetes hidrológiai körfolyamat módosulása több ponton érinti a városi vízgazdálkodást. A csapadékvíz-elvezető rendszerek és annak befogadói nagyobb terhelésnek vannak kitéve, sokszor túlterheltté válnak, mind mennyiségi, mind vízminőségi értelemben. A talajvíz utánpótlásának megcsappanása a városi növényzet öntözési igényeit fokozza, melyet legtöbb helyen még mindig az ivóvízellátó hálózatról oldanak meg. A párolgás mérséklődése a települési mikroklíma további romlásához vezet. A burkolt felületek nagyarányú alkalmazása több egyéb tényező mellett az átlaghőmérséklet növekedését okozza a városokon belül.

A gyakorlati tapasztalatok alapján egyértelművé vált, hogy a konvencionális csapadékvíz-elvezetésen alapuló megoldások nem adnak adekvát válaszokat a változó klíma és a települési vízgyűjtők változó lefolyásviszonyai okozta kihívásokra. Ez a felismerés vezetett oda, hogy a csapadékvíz gyors elvezetése helyett előtérbe kerültek azok a csekély beavatkozással járó, zöld, ún. Low Impact Development (LID) vagy az ezzel nagy átfedést mutató Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) megoldások, melyek a település vízgyűjtőjére hulló vizek visszatartását, tározását, párologtatását és talajba szivárgását segítik elő.

Ezen módszerek alkalmazásának előnyei, hogy a csapadékvíz helyben tartásával csökken a csatornahálózatba jutó vízmennyiség, ezáltal a rendszer túlterheltsége is. Továbbá az elöntések és a szennyvíztisztítók túlterhelésének veszélye is redukálódik. A lefolyás lassítása és a zöld felületek tisztító hatása a befogadó vízfolyások vízminőségére is jó hatással van. A városi burkolt felületek miatt lecsökkent talajba szivárgó víz mennyisége is javulhat a beszivárgás mennyiségének

növekedésével, valamint a zöld felületekkel a helyi mikroklíma jobbá és a város látképe pedig szebbé válik.

A LID megoldásoknak sokfajta típusa létezik. A keletkezés helyén történő csapadékvíz elhelyezés egyik eszköze a beszivárogtatás, fontos azonban, hogy maga a terület és a csapadékvíz vízminősége erre alkalmas legyen. Hatékonysága pedig nagyban függ a talaj szivárgási tulajdonságaitól. Ilyen beszivárogtató felületek esetében megkülönböztethetünk burkolt és nem burkolt felületeket. A nem burkolt felületek általában természetes terepmélyedések, vagy ahhoz hasonlóan kialakított mesterséges zöld felületek, mint például a nyílt árkos beszivárogtatás, bioszűrő vápák, vagy az esőkertek. Ezen felületeken az összegyűjtött víz az elszivárgásig tározódhat.

A burkolt felületek közé sorolhatóak a vízáteresztő burkolatok, mely felületeknél a betölteni kívánt szerepük megköveteli a szilárd burkolat meglétét, de kialakításuknak köszönhetően összhangban vannak a LID szemlélettel és képesek a víznek a helyben tartására. A csapadékvíz-elvezető rendszerek lehetséges alternatívájaként vagy kiegészítéseként is remekül szolgálnak. Elsősorban ott kapnak jelentős szerepet, ahol az egyéb LID megoldások helyigényük miatt nem alkalmazhatók, vagy alkalmazásukkal értékes felületek használatát kellene korlátozni.

A hagyományos csapadékvíz-elvezető rendszerekhez hasonlóan, a vízáteresztő burkolatok hidrológiai és hidraulikai méretezése is vízépítőmérnöki feladat. Ennek egyik legfontosabb eleme a burkolat minimális vízáteresztő képességének meghatározása, amely biztosítja, hogy a mértékadó csapadékot és a felületre vezetett lefolyást a burkolat el tudja szivárogtatni. A vízáteresztő burkolatok vízáteresztő képessége a felszín rendszeres tisztítása nélkül a beépítés után jelentős mértékben csökkenhet. Ennek oka pedig a burkolatok hézagrendszerének eltömődése (kolmatáció). Ezt a jelenséget a hidrológiai/hidraulikai tervezés mellett a burkolat üzemeltetésének és karbantartásának tervezésénél is figyelembe kell venni.

A vízáteresztő burkolatok közül drénaszfalt, drénbeton és kiselemes (térkő) burkolatok vízáteresztő képességére és annak kolmatáció okozta csökkenésére vonatkozóan vannak külföldi tapasztalatok. Hazánkban ezek alkalmazása még nem terjedt el, ugyanakkor a műgyantával stabilizált szórt és öntött gumi (rekortán) típusú burkolatokkal egyre több helyen találkozhatunk köztereken, játszótereken, sportpályákon. Ezeken a felületeken a közúti forgalom által igénybe vett felületekhez képest eltérő szennyezőanyag típusok okozzák a burkolat eltömődését, így vélhetően a vízáteresztő képesség csökkenésének időbeli lefutása is eltérő. Erre vonatkozóan gyakorlatilag nincsenek ismereteink, ezzel kapcsolatban hazánkban és külföldön sem történtek vizsgálatok.

Továbbá Magyarországon nem jellemző a vízáteresztő burkolatok szakszerű tisztítása, ezért különösen fontos, hogy felmérjük, hogy a korábban létesített rendszerek beszivárogtató képessége hogyan alakult időben, és milyen következményekkel járhat a karbantartás hiánya.

A dolgozatomban ezen burkolattípusok vízáteresztő képességét és annak időbeli változását vizsgáltam. A kutatásom keretében tizennyolc budapesti helyszínen végeztem infiltrációs (felszíni beszivárgás) tesztek. A vizsgált burkolatokat különböző létesítési évek és eltérő használati körülmények jellemzik. A mérési eredmények alapján céлом volt olyan összefüggések felállítása, amelyekkel a felszíni eltömődés időbeli alakulása becsülhető. A leíró görbe értékeit összevetve a méretezésnél alkalmazott csapadékintenzitásokkal számítható, hogy a tisztítás elmaradása, hiánya milyen következményekkel járhat a burkolat vízáteresztő képessége szempontjából.

1. Irodalmi áttekintés

Több országban is végeztek hasonló vizsgálatokat, amelyek során a vízáteresztő burkolatok felszíni vízáteresztőképességét vizsgálták. Valamint végeztek olyan kísérleteket is, melyekben az eltömődés folyamatát elemezték, ezek közül néhány fontosabb kutatás eredményét foglalom össze az alábbiakban.

1.1 Porózus beton burkolat eltömődési folyamata [24]

A kísérlet során porózus beton burkolati minták eltömődési mechanizmusának a folyamatát vizsgálták a csapadékvízben található szennyeződések hatására. A kutatás során egy újfajta mérési technikát is alkalmaztak a vízáteresztő képesség mérésére, melynek során a burkolatok elektromos vezetőképességét mérték. Ennek segítségével kimutatták, hogy a pórusok eltömődésének folyamata általában három fázist foglal magában: a gyors eltömődést, az eltömődés átmeneti enyhülési fázisát és a progresszív eltömődést.

A kísérletek során megvizsgálták, hogy az alábbi tényezők, úgymint a burkolat anyagának porozitása, a csapadékvíz mennyisége, valamint a szennyezőanyag szemcsemérete hogyan befolyásolják az eltömődés folyamatát. A felsorolt tényezők alapján ezeket a következtetéseket állapították meg:

- A nagyobb porozitással rendelkező minták könnyebben eltömődhetnek. Ennek oka, hogy a nagyobb pórusméreteknek köszönhetően nagyobb lesz a mintán belül a víz szivárgási sebessége, és ezáltal több részecske tud bemosódni.
- A nagyobb vízmélység hatására a minta jóval könnyebben eltömődött. A jelenséget azzal magyarázták, hogy a magasabb vízszint hatására nagyobb beszivárgási sebesség alakul ki, amely több részecskét képes bemosni a mintába.
- A durvább szemcsék esetében az eltömődés mértéke kisebb mértékű volt, ennek oka, hogy a durvább részecskék a felsőbb pórusokban már elakadnak és nehezebben jutnak be a minta alsóbb rétegeibe. A graduált homok esetében pedig azt látták, hogy a telített áteresztő képesség ebben az esetben a legkisebb, mert a durvább szemcsék eltömítik a felső pórusokat, amíg a finomabb szemcsék pedig kitöltik a többit.

A kutatás másik fő részét képezte, hogy a Kozeny-Carman egyenletet felhasználva egy olyan modellt alkottak, amellyel a gyors eltömődés folyamata leírható.

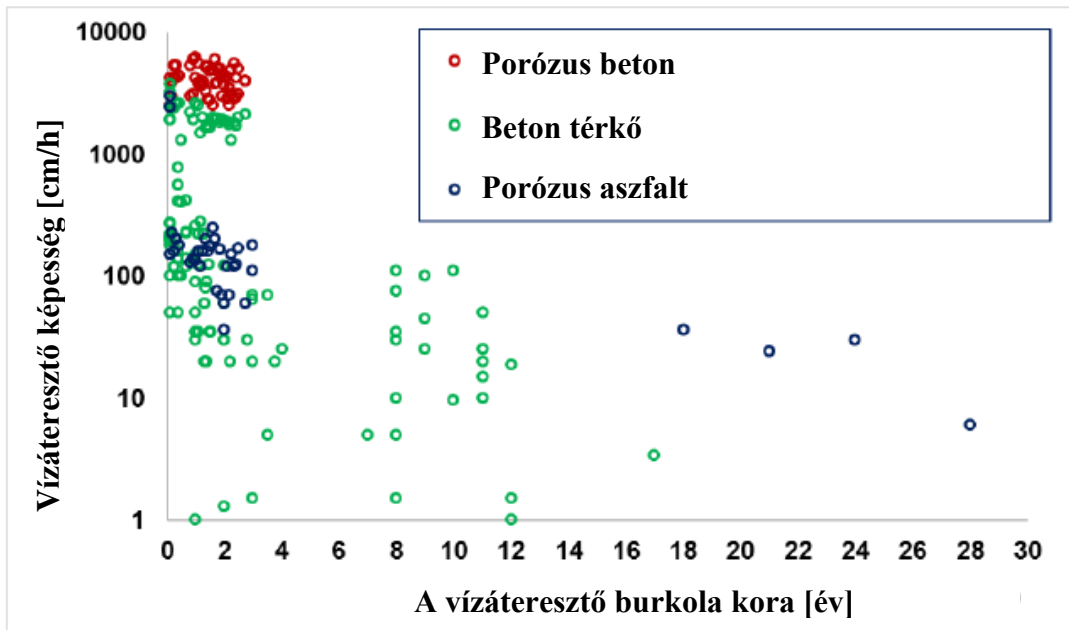
1.2 Beton térkő burkolat eltömődési folyamata [26]

A tanulmányban beton térkő burkolatokat vizsgáltak háromféle réteg elrendezéssel, melyek a következők: A – felső burkolati réteg, ágyazó és alapozó réteg, B – felső burkolati réteg, alatta csak ágyazó réteggel, C – csak a felső burkolati réteg az illesztések közt az ágyazó réteg anyagával. Az eltömődés reprezentálásához különböző szemcseméretű szennyezőanyagot használtak, melyet kilenc frakcióra osztottak fel 1-560 mikrométer közt. A kísérlet során 15 évnyi használatból eredő szennyezőanyag terhelést szimuláltak, melyet a burkolatra juttatott szennyezőanyag mennyiségének arányos növelésével valósítottak meg. A különböző szemcseméret frakciók kétféle sorrendben kerültek alkalmazásra. Az 1. ciklusban növekvő, míg a 2. ciklusban csökkenő szemcsemérettel adagolták a finomfrakciókat a mintatestre.

Az előzetes elvárásaiknak megfelelően a felszíni beszivárgási sebesség általában csökkent a minták növekvő számú réteg felépítésének megfelelően. A mérések során az eltömődés folyamata tisztán látható volt, mindegyik elrendezés és mindkét mérési ciklus során az infiltráció sebessége lényeges csökkenést mutatott az idő függvényében. Ez egyértelműen jelzi a részecskék mechanikus szűrésének folyamatát. Azonban, a kétféle szemcseméret terhelési ciklus közötti különbségek jól megfigyelhetők voltak, jelezve, hogy a fizikai folyamat attól függően változik, hogy először kicsi vagy nagy részecskék haladnak át a rendszeren. (Ezt befolyásolhatja az ágyazó és alaprétegben alkalmazott szemcseméret is). A felszíni beszivárgás sebességének csökkenése az A, B és C minták mindegyikének esetében kisebb mértékű volt, amikor az üledék szemcsék csökkenő méretű sorrendben haladtak át (2. ciklus), mint mikor növekvő méretű sorrendben (1. ciklus).

A tanulmányban a kifolyás után visszamaradt szennyezőanyag mennyiségét is vizsgálták, amelyből az egyes burkolatok szennyezőanyag visszatartási képességeire tudtak következtetni. Az össz üledék mennyiséget megállapítva az 1. ciklusban 48-81%, a 2. ciklusban 74-94 % eltömődés volt tapasztalható. A mért értékekből arra a következtetésre jutottak, hogy illesztések közt vándorló szennyeződés nagy része visszamaradt az ágyazó rétegben, és nem jutott le az alaprétegbe. Továbbá a durvább szemcseméretű szennyeződések eltorlaszolják a finomabb szennyeződések útját a beszivárgás során, így akadályozva azok továbbjutását az ágyazó, illetve az alapréteg felé.

1.3 A szivárgási sebesség változása a vízáteresztő burkolatok életkorának függvényében [25]



1. ábra: A beszivárgási sebesség a burkolatok életkorának függvényében ábrázolva porózus beton burkolat (PC), beton térkő (PICP) és porózus aszfalt esetén [25]

A cikkben összegyűjtötték számos tanulmány eredményeit, melyek a beszivárgási sebességet vizsgálták, egészen 2010 óta. Az 1. számú ábrán az összegyűjtött eredmények láthatóak, melyen azt láthatjuk, 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 az is megállapítható, hogy a beszivárgás sebességének mértéke a burkolatok lerakásától eltelt második évben általában már jelentősen lecsökkent. Az 1. számú ábrából az is megfigyelhető, hogy a telepítést követő negyedik évben a felszíni beszivárgás értéke 1000 mm/h alá csökkent. Ennek oka valószínűleg a burkolatok karbantartásának elmaradásában keresendő.

A tanulmányban továbbá áttekintették a már meglévő beszivárgási sebesség mérésre szolgáló módszereket, valamint a burkolatok karbantartására vonatkozó írásokat. A mérésekre vonatkozóan megállapították, hogy a már jól bevált sztenderdfelszíni beszivárgási beszivárgás mérés teszteket gyakran nem alkalmazzák a kutatók és a kivitelezők azok összetettsége miatt. Ezt azt jelzi, hogy új hatékonyabb és könnyebben elvégezhető módszerek kidolgozására van szükség. Továbbá összehasonlítások során arra jutottak, hogy nincsen univerzálisan alkalmazható karbantartási módszer, amely jobb lenne az eddig ismerteknél.

1.4 Vízáteresztő burkolatok vízáteresztő képességére vonatkozó külföldi előírások

A vízáteresztő burkolatok szivárogtató képességét két módon szokták jellemezni, mint rendszert:

- A felszíni beszivárogtató képességgel, amely a nagyintenzitású (mértékadó) csapadék eseménynél fontos.
- Valamint a minimális, telítettségállapothoz tartozó szivárogtató képességgel, amely az általajt jellemzi, és a tározóréteg leürülése miatt jelentős.

A burkolatok minimális beszivárogtató képességre vonatkozóan számtalan ország alkalmaz már előírást. A vízáteresztő térkőburkolatok esetén a fugázó anyagok szivárgási tényezője általában 10^5 mm/h nagyságrendű [4][17], a teljes burkolt felület szivárogtató képessége ennél általában jóval kisebb. Azonban ez az érték szinte minden esetben meghaladja a mértékadónak tekinthető csapadékinintenzitást [2]. Bean munkatársaival 11 különböző korú térkővel burkolt felszín vízáteresztő képességét vizsgálta [18], a mért értékek 20 mm/h és 40000 mm/h között változtak [2].

Belgiumban a felszín (valamint a többi szerkezeti réteg) minimális áteresztő képességét a mértékadó csapadékinintenzitásból határozzák meg, oly módon, hogy az idővel való eltömődés miatt $\gamma=2$ biztonsági tényezőt használnak [19]. Emellett Amerikában is találhatunk a szivárogtató képesség minimális értékére vonatkozó előírásokat, például Wisconsinban az új burkolatokra 2500 mm/h-t írnak elő, amely a későbbiekben nem csökkenhet 250 mm/h alá, ennek bizonyításához a tervezőktől pedig modell számításokat várnak el [20]. J. Faleyieux Franciaországban a racionális módszert javasolja a mértékadó terhelés meghatározásához, és ennek az értéknek a tízszeresét írják elő, mint szükséges beszivárgási értéket [14]. Németországban az előírások szerint 194 mm/h a beépítés utáni minimális érték, és az tartós használat esetén nem csökkenhet 97 mm/h alá. A belga és német szabály esetében kétszeres, az amerikai és francia szabványban tízszeres a még elfogadható csökkenés a burkolatok teljesítő képességében. A kolmatáció hatásait számba véve [22], a német szabvány felülvizsgálatát javasolják, melyet 600 mm/h-ra módosítana a 194 mm/h helyett [4].

A felszíni beszivárgás mértéke akár néhány év elteltével a használat, és a nem megfelelő fenntartás esetén is jelentősen csökkenhet a kolmatáció miatt. A csökkenés mértéke akár a 70-90 %-ot is elérheti [2] [3], ezután viszont csaknem konstansnak tekinthető [23]. Bean munkatársaival lényegesen kisebb beszivárgási értékeket mért az olyan területeken, amelynek a közelében finom szemcsés talajú burkolatlan felületek voltak [18]. 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] [11].

2. Vízáteresztő burkolatok általános bemutatása

A vízáteresztő burkolatok olyan útburkolatok, amelyek nagymértékben képesek a vizet átteresztetni porózus felületüknek köszönhetően. Az, hogy egy adott útburkolat és a hozzá kapcsolódó útpályaszerkezet vízáteresztő-e, az a megépítés és a kialakítás módjától függ. A lehulló 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 általánosabban.

Az áteresztő burkolat előnyei:

- A teljesen vagy részben (lásd: 2.3 alfejezet) vízáteresztő burkolatok segítik a természetes hidrológiai egyensúly helyreállítását és csökkentik a lefolyás mértékét azáltal, hogy felfogják és lassan a talajba szivároztatják a csapadékot, ahelyett, hogy engednék a csatornába folyni azt szennyvízként. Ezáltal csökkentve a befogadók leterheltségét és az elöntés veszélyét is.
- A leterheltség csökkenésével elegendővé válhat kisebb vízelvezető rendszer kiépítése is, néhol akár el is hagyható.
- A burkolaton át a talajba szivárgott víz segít helyreállítani a lecsökkent talajvíztükrt, annak táplálásával, valamint a beszivárgott vizet felvevő városi növényzet a párologtatással nagymértékben hűti a környezetét.
- Segítenek megóvni a befogadók természetes vizének tisztaságát azáltal, hogy bizonyos szennyeződések képesek megszűnni.
- A városi zajok csökkentésében is szerepük lehet, azáltal, hogy a szemcsék közti hézagok elnyelik a hangot.

Hátrányuk lehet:

- Vízáteresztő képességük idővel csökkenhet a szennyeződések, eltömődések következtében, azonban megfelelő karbantartással ez kiküszöbölhető.
- Valamint, mint minden burkolatnál fontos az alkalmazás helyének megfelelő megválasztása.
- Fagyásra és olvadásra érzékenyek lehetnek.

2.1 Burkolatok típusai

A típusokat tekintve léteznek öntött, szórt, elemes, valamint magas zöldfelülettel rendelkező burkolatok. Némelyik fajtánál kimondott elvárás a nagy teherbírás, mert a közúti forgalmi követelményeinek is meg kell felelniük (például drénaszfalt), míg másoknál, melyeket gyalogosforgalomra terveznek, a teherbírásra való kitétel 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**

Nagy mértékben hasonlít a hagyományos aszfaltra, a szemcseeloszlás kivételével, ugyanis a nagyon finom szemcséket kihagyják az összeállításakor, ezáltal igen nagy szabad hézagterfoglata 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 csúszás veszély lecsökken az útpályán. Hazánkban alkalmazása nem terjedt el, mivel fenntartás-igényes, élettartama pedig viszonylag rövid, 7-10 év közt van.[5][10]

- **Drénbeton**

A drénbeton vagy porózus beton a drénaszfalhoz hasonló módon szemcse frakció kihagyással készül. A finom részecskék arányának csökkentésével vagy elhagyásával átlagosan 15-20 %-os porozitás érhető el. A burkolatnak egyszerre kell megfelelnie a szilárdsági elvárásoknak és a jó vízelvezetőképességi tulajdonságoknak. 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 külföldön a nyugat-európai országokban van elterjedőben a használata. [10] [12]

- **(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) burkolatot. A burkolattípust elsősorban játszótereken, sportpályákon, futópályákon használják előszeretettel nem csak a jó vízelvezető képessége miatt, hanem ütéscsillapító szerepe révén is. A rekortán elnevezés eredetileg egy márkanév volt, de mára már beépült a köztudatba, és úgymond köznevesült a kifejezés. [10][32][33]

Szórt burkolatok

- **Kötőanyaggal stabilizált szórt burkolat**

- **Műgyantás stabilizált burkolat:**

Poliuretán-műgyanta és kavics vagy közúzalék 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. [10]

- **Organikus kötésű stabilizált burkolat:**

Kötőanyagként egy speciális növényi adalékanyagot használnak, amely természetes alapú. Száraz időben beton keménységű, nedves időben azonban kissé felpuhul. [10]

- **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. [10]

- **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. [10]

- **Kavics fix**

Zúzott kő vagy kavics ágyazat, amelyet méhsejt alakú műanyag (gyeprácshoz hasonló) cellákba szórnak. Ezek a cellák stabilizálják a szórt anyagot. [10]

Magas zöldfelületet biztosító burkolatok

- **Gyeprács**

Beton vagy műanyag rács, melynek sejtjeit humusszal töltik fel és gyeppel ültetik be azt. Gyakran alkalmazzák parkoló felületek kialakításánál. [10]

- **Stabilizált gyepburkolat**

Zúzott kő és humusz keverékéből előállított felépítmény, melynek a tetejét fűmaggal vetik be. [10]

Elemes burkolatok

- **Termés és térkő burkolatok**

Beton, terméskő vagy műkő anyagú burkolatok, melyek színe, formája, és mérete rendkívül változatos. A vízáteresztő képességük a javarészt 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 csapadékvíz. Ezt a 10 %-ot a térkövek közti hézagok biztosítják, melyek lehetnek akár ovális, vagy kör alakúak is. Speciális kialakítása lehet a porózus térkő (drén térkő), amely szemkihagyásos szemeloszlással készül. Nagy mértékű porozitása lévén a csapadék magukon a térköveken át is képes átszivárogni, az elemek közti hézag pedig csak segíti a víz lefolyását az alsóbb rétegekbe. [10]

- **Gyephézagos elemes térkő burkolat**

Az ilyen kialakítású burkolatoknál távtartó elemek növelik a fugák méretét, amiket vízáteresztő zúzottkő vagy humuszos - gyepes feltöltéssel látnak el. [10]

2.2 Vízáteresztő útpályaszerkezet kialakítása

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

A vízáteresztő pályaszerkezet legalsó rétege a víztározó alapréteg, amelynek vastagsága a méretezés szempontjából mértékadó csapadékvíz-terhelés függvényében kerül felvételre. [27] 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 alap, amely a szemcsék közti hézagokban képes elvezetni a vizet, illetve tárolni is azt egy ideig. Legfelső réteggént pedig a kopóréteg, illetve burkolat típustól függően az előbbi alá az ágyazó réteg. Az ágyazó anyag alá jó vízáteresztő képességű geotextília elhelyezése kötelező, amely megakadályozza a finom szemcsék bemosódását az alsóbb rétegekbe [10]

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. Ugyanis, hogyha olyan mennyiségű vagy intenzitású csapadék hullik, amelyet a rendszer már nem képes befogadni/elvezetni, akkor felszíni lefolyás fog keletkezni, és ennek elvezetéséről gondoskodni kell.

2.3 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 altípust különböztünk meg [27] (2. 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, hogyha nagy vízáteresztő képességű geotextíliával, georáccsal egészítjük ki azt.

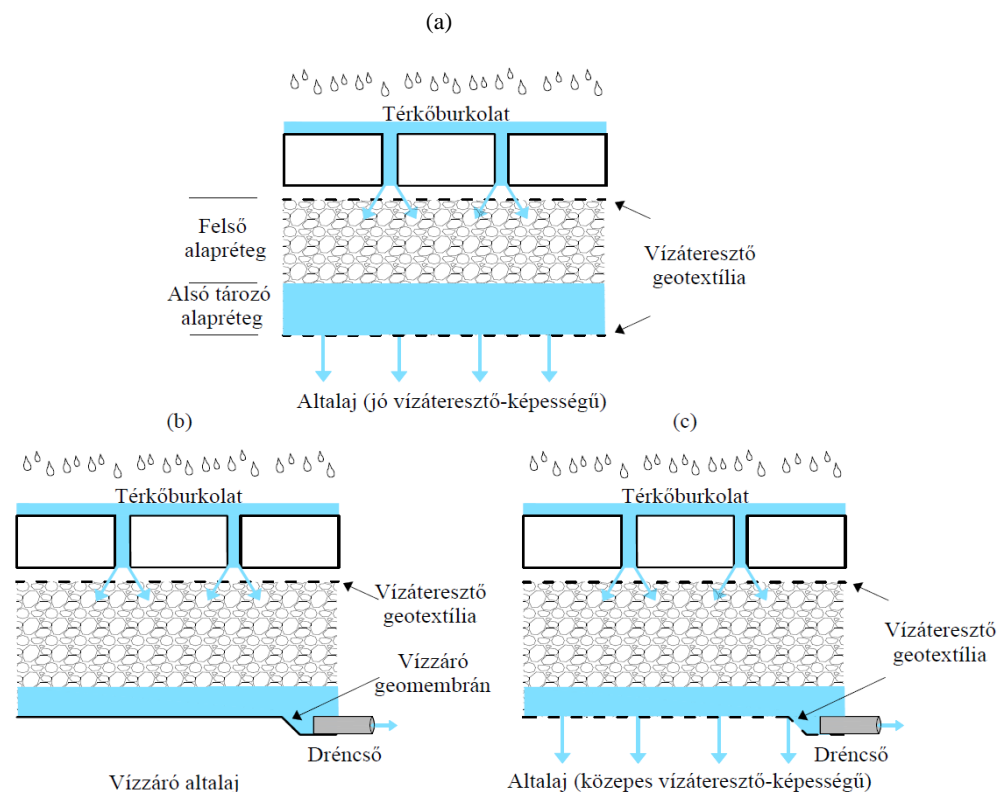
b.) Nem elszivárogtató, vízzáró talaj esetén

Ebben az esetben a pályaszerkezetbe szivárgó vizet ugyan késleltetve, de teljes egészében tovább vezetjük a közeli csapadékvíz-elvezető rendszerbe. A vizet geotextíliával bevont dréncsővekkel szállítjuk el. Ennek oka lehet az altalaj vízzárósága, vagy az adott területen nem engedélyezett szikkasztás.

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 vezetjük, részben pedig dréncsőveken 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 a csapadékvizet tovább vezetni a jó áteresztőképességű rétegbe, illetve a dréncsővek felé



2. ábra Burkolatok csoportosítása a csapadékvíz elvezetés módja szerint: (a) teljesen elszívárogató, (b) nem elszívárogató, (c) részben elszívárogató [27]

2.4 Alkalmazásuk és fenntartásuk

A vízáteresztő burkolatok esztétikusak és remekül beilleszthetők a városi környezetbe. Gyakran alkalmazzák parkolóknál, benzinkutaknál, alacsonyabb fogalmú utakon, járdák kialakításánál, kocsibejáróknál, parkokban, játszótereken, valamint sportpályákon is.

A burkolatok vízáteresztő képessége azonban 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 finomszemcséjű anyag tud a burkolat felületére jutni, ugyanis ezek idő előtti eltömődéshez vezethetnek, ezzel csökkentve a felület áteresztő 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. Az esetlegesen a burkolatban megjelenő növények vegyszer nélkül pl.: gőzborotvával könnyedén eltávolíthatók.

A műgyantával stabilizált kavicsburkolaton egyszerűen elvégezhető néhány évente szükséges magasnyomású mosóval való áttisztítás, melynek segítségével a burkolatban beágyazódott szennyeződések jelentős részét eltávolíthatjuk.

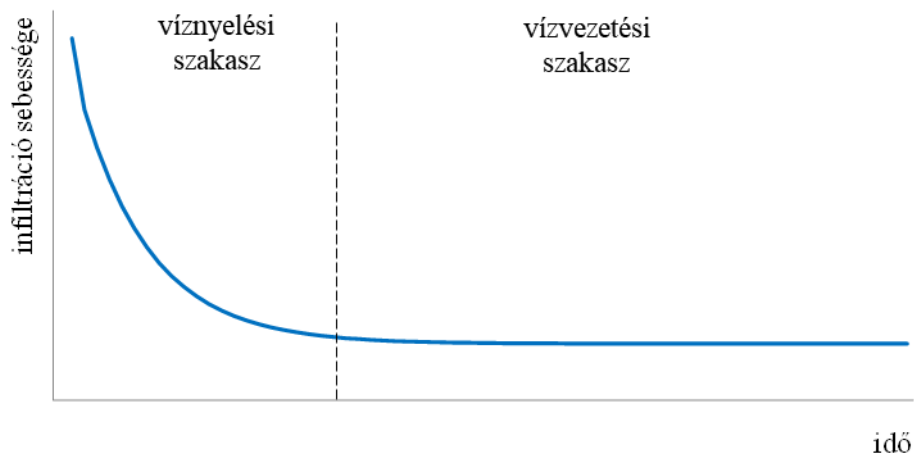
A térkő és terméskő burkolatok esetében az eltömődés mértéke különösen jelentős lehet a fugák közt, valamint az ágyazó rétegben. Ilyenkor a fugázó anyag felső rétegének (kb. 2 cm) eltávolításával és annak cseréjével, jelentősen javíthatjuk a beszivárgási képességét a felületnek.

3. 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 [Richards, 1931] 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 Philip [1957] és Horton [1933] egyenleteit.

A Horton egyenlet alapján felrajzolható görbe (3. 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.



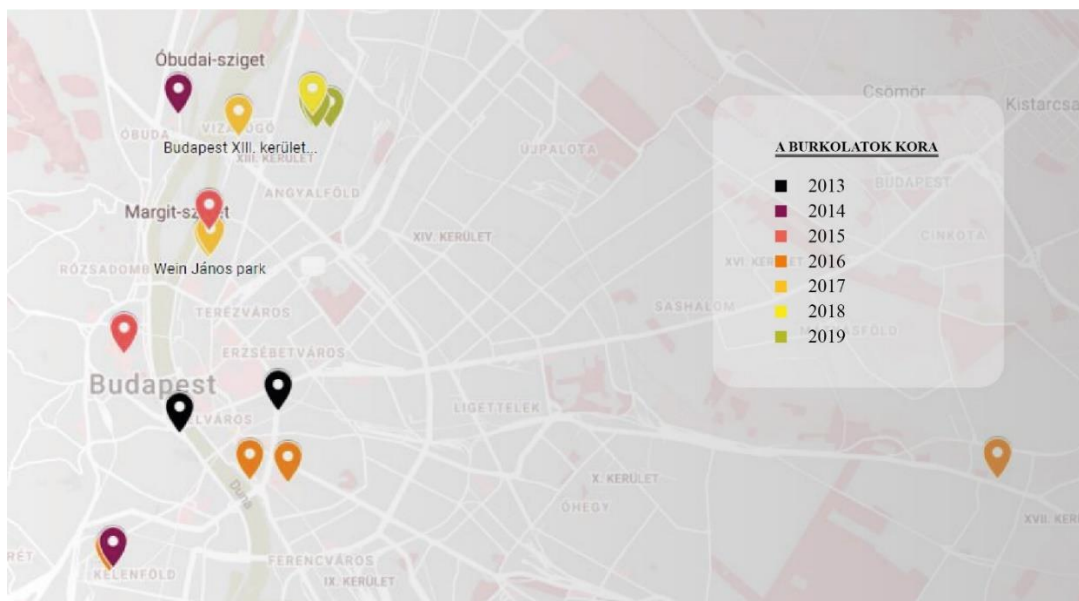
3. ábra A beszivárgás sebességének időbeli változása a Horton egyenlet alapján

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.

3.1 Mérési helyszínek

A kutatásom keretében, tizennyolc budapesti helyszínen alkalmazott vízáteresztő burkolat felszíni beszivárogtató képességének mérésére került sor. Az alábbi térképen (4. ábra) láthatóak a mért helyszínek létesítési idejük szerint eltérő színekkel ábrázolva.



4. 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	pinpong asztalok 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.

Négy helyszín a Hajós játszótér, a Fiastyúk utca közpark, valamint a Hajdú utca sportpark és játszótér esetében kétszer végeztem méréseket, ugyanazon pontokban. A mérések fél éves csúsztatással két külön évszakban történtek, februárban (téli mérések), és augusztusban (nyári mérések). Ezen helyszínek esetében így két időpontból áll rendelkezésre mérési adat, azáltal képet

kaphatunk a rövid időn belüli vízáteresztő képesség változásról, valamint arról, hogy érvényesül-e évszak-hatás.

A következő felsorolásban részletesebben írok az egyes burkolatok használatáról, illetve a környezetükről:

- 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 rétegrenddel. 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 pingpong asztalok 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 szennyezések 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 panel házak, 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. Az 5. számú ábrán a játszótér egy részlete látható.



5. ábra A Kalóztenger játszótér egy részlete, öntött gumi burkolat

- Nehru part, 9. kerület:
Itt található egy nagyobb játszótér, melynek felülete a játékok alatt öntött gumi burkolatot kapott. A gumival borított felületek közt az összeköttetést 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 beleesik 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. A 6. számú ábrán a sétány egy részlete látható.



6. ábra A Dagály sétány egy részlete, szórt burkolat

- Népfürdő utca 21., 13. kerület:

A Vizafogó lakótelep udvarai közt található kisebb parkrészt szórt kavics burkolatot kaptak. A területet nevezhetjük rózsakertnek, ugyanis a burkolat mentén körben, illetve a parkrészt közepére rózsákat ültettek. Maga a burkolat felülete az előbbihez hasonlóan szép állapotú, külső felületi sérelemtől 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 terület, mely körül járda fut. A járda felülete jóval szennyezettebb volt, valamint látszódtak a pórusok eltömődöttsége is. Ennek

oka lehet, hogy ez 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 szennyeződések, 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.

3.2 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 burkolatok vízáteresztő képességi együtthatóját dupla-gyűrűs infiltrométerrel terveztem mérni. A 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 az innen elszivárgó víz oldalról „megtámassza” a belsőből történő szivárgást, ezzel biztosítva, hogy a belső gyűrűből elszivárgó víz sebesség-vektora függőleges legyen.

Az első mérések alkalmával kiderült, hogy a burkolatok nagy vízáteresztő képessége miatt az azonos vízszintek tartása a külső gyűrű kézi utántöltésével nem lehetséges, ezért a szimpla-gyűrűs megoldás mellett döntöttem. A módszernek kétségtelen hátránya, hogy az oldalirányú elszivárgás miatt a függőleges vízáteresztő képességi együttható felülbecslésével jár.

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.



7. ábra Mérőeszközök és a mérés folyamata

A méréshez 200 mm (téli méréseknél) átmérőjű, 200 mm magasságú acél, illetve 300 mm (nyári méréseknél) átmérőjű, 100 mm magasságú PVC gyűrűt használtam. A burkolat és a gyűrű közötti érintkezési felületet a burkolat agyaggal tömítettem annak érdekében, hogy az egyenetlen felszín

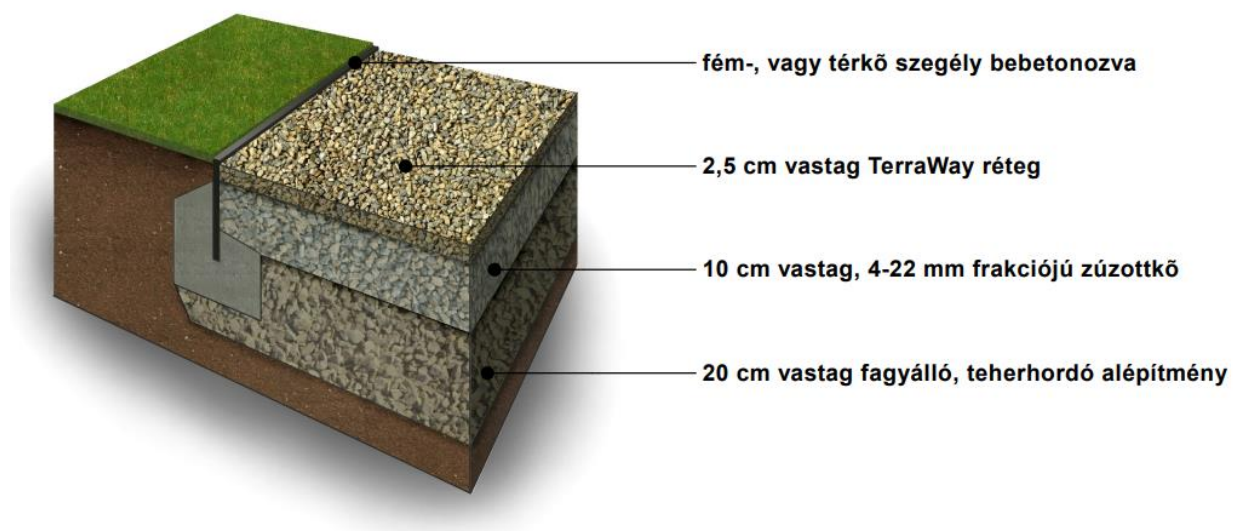
és a gyűrű között a gyűrűbe töltött víz ne tudjon kiszivárogni. A szintetikus tömítőanyagokkal szemben az agyag könnyen visszanyerhető, újra felhasználható, a mérések során a burkolatok felületében nem okozott kárt, valamint környezetbarát is.

A mérés tervezésénél és kivitelezésénél az Útműszaki Előírás (ÚME) [27] vonatkozó előírásait vettem figyelembe. Ez az 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 7. számú ábrán a felállított mérőgyűrű, valamint a mérés folyamata látható.

3.3 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:



8. ábra A terraway, szórt kavics burkolatok általános rétegfelépítése [35]

A honlapjukon közzétett információk alapján a burkolatok vízáteresztő képességi együtthatója 1800 mm/h, ezt az értéket kell, hogy tudják teljesíteni a létesítésükkor. [36]

Az öntött gumi burkolatok esetében nem állt rendelkezésemre információ a kivitelezést, illetve a részletesebb felépítést illetően. Így ezen burkolatok esetében feltételeztem, hogy az alépítmény is

legalább olyan vízáteresztő képességgel rendelkezik, mint a legfelső réteg, így a vízáteresztő képesség mérése elvégezhető ezen burkolatok esetében is.

3.4 A mérési pontok kiválasztása és a mérés körülményei

Az egyes mérési pontok elhelyezkedésénél igyekeztem azokat oly módon kiválasztani, hogy a gyűrű által körbezárt terület felülete jól reprezentálja a teljes burkolat felületét. Továbbá a mérések során a helyszíntől függően törekedtem olyan részén mérni az adott felületnek, ahol a járókelőket, vagy az éppen ott szabad idejüket töltő embereket ne zavarjam. Valamint a pontok kijelölésénél ügyeltem arra, hogy köztük legalább 5 méter távolság legyen (ha ezt a burkolat adott irányban lévő szélessége lehetővé tette).

A méréseket többnyire napos időben végeztem, habár előfordult egy-egy alkalommal, hogy felhős volt az ég. A nyári mérések során az átlagos hőmérséklet $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ körül volt, a télen végzett mérések során pedig $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ körül. Csapadékos időben nem végeztem méréseket.

3.5 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.

3.6 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 az ÚME [27] 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 az alábbi táblázat (2. táblázat) mutatja: [27]

2. Táblázat A méréshez szükséges víz térfogata [liter] [27]

Átmérők [mm]	Előnedvesítés ideje [sec]				
	<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 számíthatjuk. A 200 mm átmérőjű gyűrű használatakor is ezt alkalmaztam.

3.7 Vizsgálat menete

A vizsgálatot az ÚME [27] előírásai szerint az előnedvesítés után 2 percen 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 befejeztétől 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 pl.: a víz öntése és a stopperóra együttes elindítása nem okozott gondot.

4. A mért értékek feldolgozása

4.1 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 [27]:

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

Ahol

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

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/s]
- k_b - a burkolat vízáteresztő képessége az adott mérési pontban [m/s]
- n - mérési pontok száma

Egy példán keresztül bemutatva

Itt bemutatom a fent alkalmazott számítást egy mérési helyszín eredményeit feldolgozva. A példának választott helyszínem a Dagály sétány, amely a 13. kerületben található. Létesítésének éve 2017, a burkolat anyaga pedig szórt kavics.

A mérésnél $D=300$ mm átmérőjű hengert használtam. Az előnedvesítés során alkalmazott vízmennyiség [27] alapján 5 liter. Ennek beszivárgási ideje 26 másodperc volt az első mérési pontban.

Ennek függvényében a mérések során 10 liter (V_1, V_2) vizet alkalmaztam. A mért beszívárgási idők: $t_1= 27$ sec, $t_2= 31$ sec. A fenti képlet alapján pedig a pontban mért jellemző vízáteresztő képesség az alábbi lesz:

$$k_{b,1} = \frac{4000}{D^2 \cdot \pi} \cdot \min \left\{ \frac{V_1}{t_1}, \frac{V_2}{t_2} \right\} = \frac{4000}{300^2 \cdot \pi} \cdot \min \left\{ \frac{10}{27}, \frac{10}{31} \right\} = 0,004564 \text{ m/s} = 16428,90 \text{ mm/h}$$

Ugyanezt a számítást elvégezve a második számú mérési pontra, ahol az előnedvesítés ideje 20 másodperc volt, valamint szintén $D=300$ mm átmérőjű gyűrűt alkalmaztunk. Ezáltal a teszt során $V_1, V_2=10$ liter. A mért idők pedig $t_1=29$ sec, $t_2=30$ sec. A számítást elvégezve $k_{b,2}= 0,004716$ m/s = 16976,53 mm/h.

A burkolt felület átlagos vízáteresztő képessége pedig a több pontban elvégzett mérések átlagából számítva:

$$k_{b,átl} = \frac{\sum k_{b,i}}{n} = \frac{0,004564 + 0,004716}{2} = 0,004640 \text{ m/s} = 16702,71 \text{ mm/h}$$

4.2 Burkolat kora és vízáteresztő képességi együtthatója közötti kapcsolat vizsgálata

A burkolatok vízáteresztő képességi együtthatója a tapasztalatok szerint (1. 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 például 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.

Az, hogy az adott helyszíni mérési pont melyik kategóriába sorolható azt a helyszíni tapasztalatok alapján döntöttem el. Az illesztett görbe és a csapadékintenzitás kapcsolata

A burkolat vízáteresztő képességének csökkenése és annak időbeli lefutása alapvetően a tervezés és a fenntartás szempontjából érdekes, ezért célszerűnek láttam kapcsolatot teremteni a csökkenés dinamikája és a települési csapadékvíz-elvezető rendszerek tervezése során alkalmazott csapadékintenzitás függvények között.

A kiinduló feltétele az összefüggésnek az volt, hogy a burkolat telített vízáteresztő képességét leíró egyenletet, melyet a mérések alapján kaptam egyenlőnek tekintettem annak a tervezési csapadékintenzitás értékével, vagyis az alábbi összefüggést feltételeztem (a csapadékintenzitást a csapadék visszatérési ideje és időtartama alapján a Montanari-féle összefüggéssel számítottam):

$$k_b = i_p \quad (4)$$

$$c * e^{-d*T} = a * \left(\frac{t}{10}\right)^{-m} \quad (5)$$

Ahol

- i_p – a számított mértékadó csapadék intenzitása (p visszatérési idő, t csapadékidőtartam) [mm/h]
- a – a 10 perces időtartamú p visszatérési idejű modellcsapadék intenzitása [mm/h]
- t - a mértékadó csapadék időtartama [perc]
- m – hatványkitevő, értékei valószínűségi jellemzőként állandók [-]

A fenti csapadék intenzitást leíró egyenlet a 10-180 perces rövid idejű csapadék intenzitásának a meghatározására szolgál. Az összefüggés felállítása során ezen rövid idejű (zápor) csapadékokkal dolgoztam, mivel a vízáteresztő burkolatok vízáteresztő képessége szempontjából a nagy intenzitású csapadékok a mértékadók.

A t értéket kifejezve a fenti összefüggésből az alábbi egyenletet kaptam:

$$t = \left(\frac{c \cdot 10^{-m} \cdot e^{-T \cdot d}}{a} \right)^{-\frac{1}{m}} \quad (6)$$

A kapott egyenletből minden paraméter ismert, ezáltal a görbe értékei számíthatóak. Az egyes számításokat itt nem részletezem, a számított értékeket táblázatos formában az alábbi 3. táblázat mutatja.

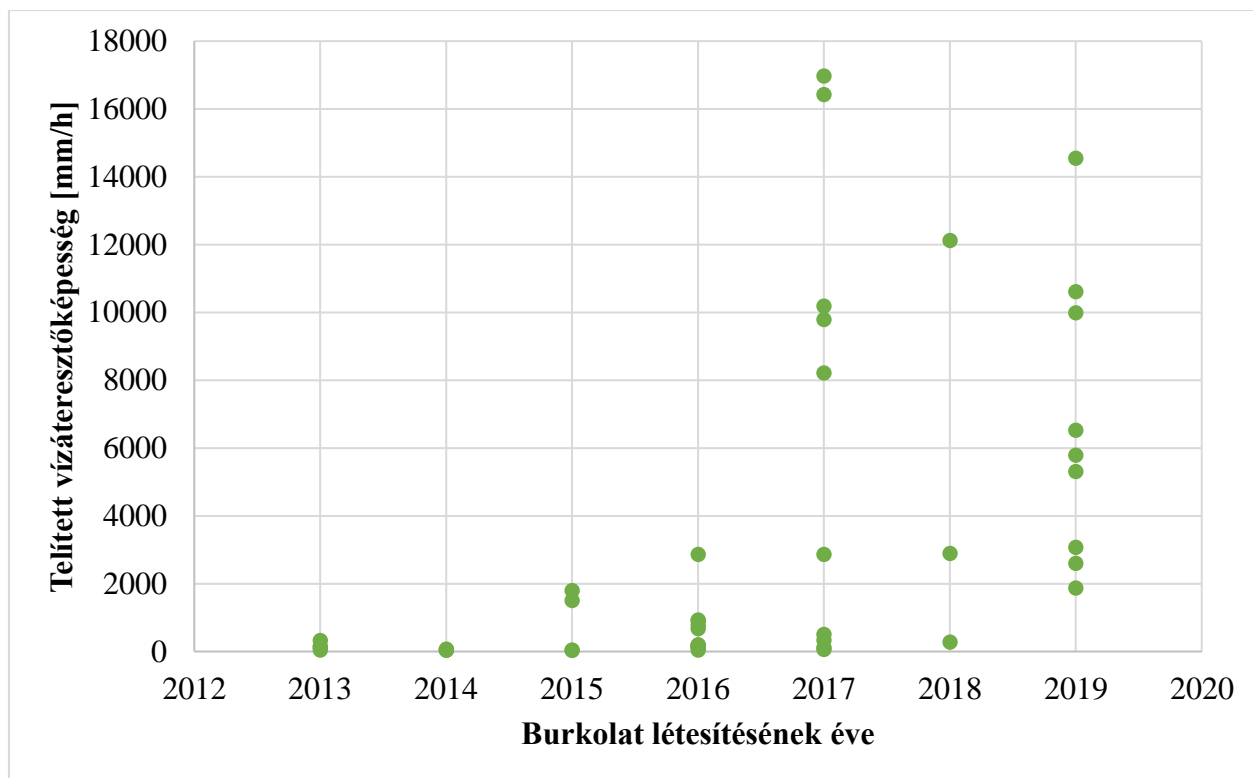
3. Táblázat A számított t értékei [perc] a burkolat korának, és a csapadék visszatérési idejének a függvényében

Csapadék visszatérési ideje [év]	Burkolat kora [év]									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,00	0,01	0,05	0,19	0,67	2,38	8,52	30,52	109,25	391,13
2	0,01	0,03	0,11	0,38	1,30	4,50	15,55	53,69	185,43	640,43
4	0,01	0,05	0,17	0,59	1,99	6,75	22,93	77,84	264,26	897,09
10	0,02	0,08	0,26	0,89	3,02	10,25	34,81	118,16	401,13	1361,71
20	0,03	0,11	0,36	1,19	3,97	13,25	44,23	147,66	492,95	1645,66
33	0,04	0,14	0,44	1,46	4,79	15,74	51,70	169,82	557,75	1831,88
50	0,05	0,16	0,52	1,71	5,60	18,40	60,42	198,45	651,80	2140,77
100	0,06	0,21	0,67	2,17	7,02	22,71	73,41	237,31	767,17	2480,07

5. Eredmények és értékelésük

5.1 Összesített mérési eredmények

A helyszíni mérések eredményeit az alábbi összefoglaló ábrán (9. ábra) mutatom be, amely a burkolatok telített vízáteresztő képességi együtthatóját mutatja be a burkolat létesítési évének a függvényében. Ezen az összefoglaló ábrán (9. számú) a szórt kavics és öntött gumi burkolat mérési eredményei együttesen vannak feltüntetve, és a burkolatok szennyezésnek való kitétsége szerint sincsenek szétválasztva.



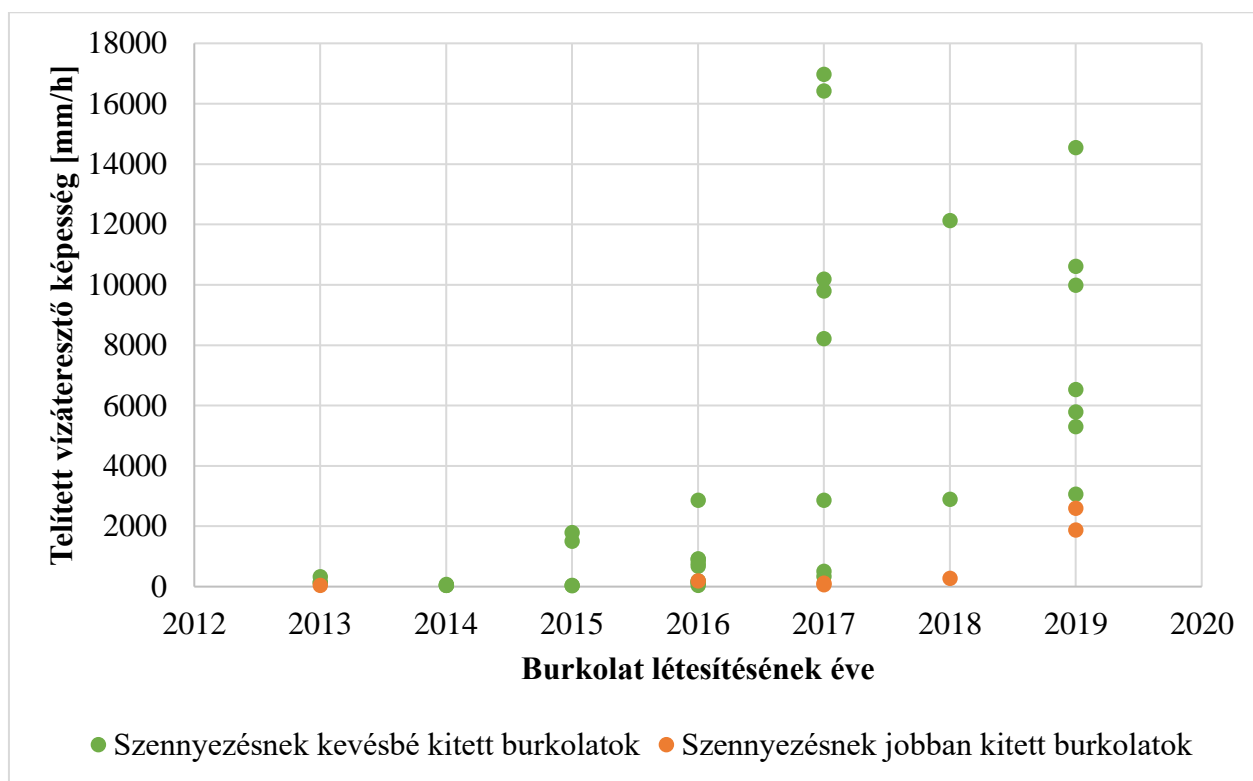
9. ábra A burkolatok telített vízáteresztő képessége a burkolat beépítési évének függvényében

A 9. számú ábrán jól látszik, hogy minél idősebb egy burkolat, annál kisebb a telített vízáteresztő képessége. Habár az adatok jelentős szórást mutatnak, amely az eltérő kialakítási és használati jellemzők következményei, a csökkenő tendencia egyértelműen kirajzolódik. A 2017 és 2019 között épült burkolatok mérési értékeiben tapasztalható kiugrás, a Dagály sétány, a Hajós játszótér, valamint a Hajdú utcai játszótér esetében. A Dagály sétány esetében a magas érték valószínűleg annak köszönhető, hogy az adott felület nincs kitéve különösebb szennyezésnek, illetve folyamatos nagymértékű használatnak. A Hajdú utcai játszótér esetében is szintén azzal magyarázható a magas érték, hogy a felület nincs kitéve különösebb szennyező forrásnak. Ugyanakkor a Hajós játszótér

esetében ez már nem mondható el, ugyanis ezen a játszótéren folyamatos használat mellett állandó szennyezésnek is ki van téve a burkolat felülete. A kiugró érték ebben az esetben feltételezhetően azzal magyarázható, hogy egy olyan pontot sikerült megmérnem, ahol az eltömődés jelen állapotában még csekély mértékű volt.

5.2 Különböző mértékű szennyezésnek kitett helyszínek összevetése

Az alábbi ábrán (10. ábra) a burkolatok telített vízáteresztő képességének mért értékei láthatóak az időnek a függvényében, valamint aszerint színekkel elkülönítve, hogy az adott felület szennyezésnek kevésbé vagy jobban ki van-e téve. Ezen az összefoglaló ábrán (10. számú) a szórt kavics és öntött gumi burkolat mérési eredményei szintén együttesen vannak feltüntetve.

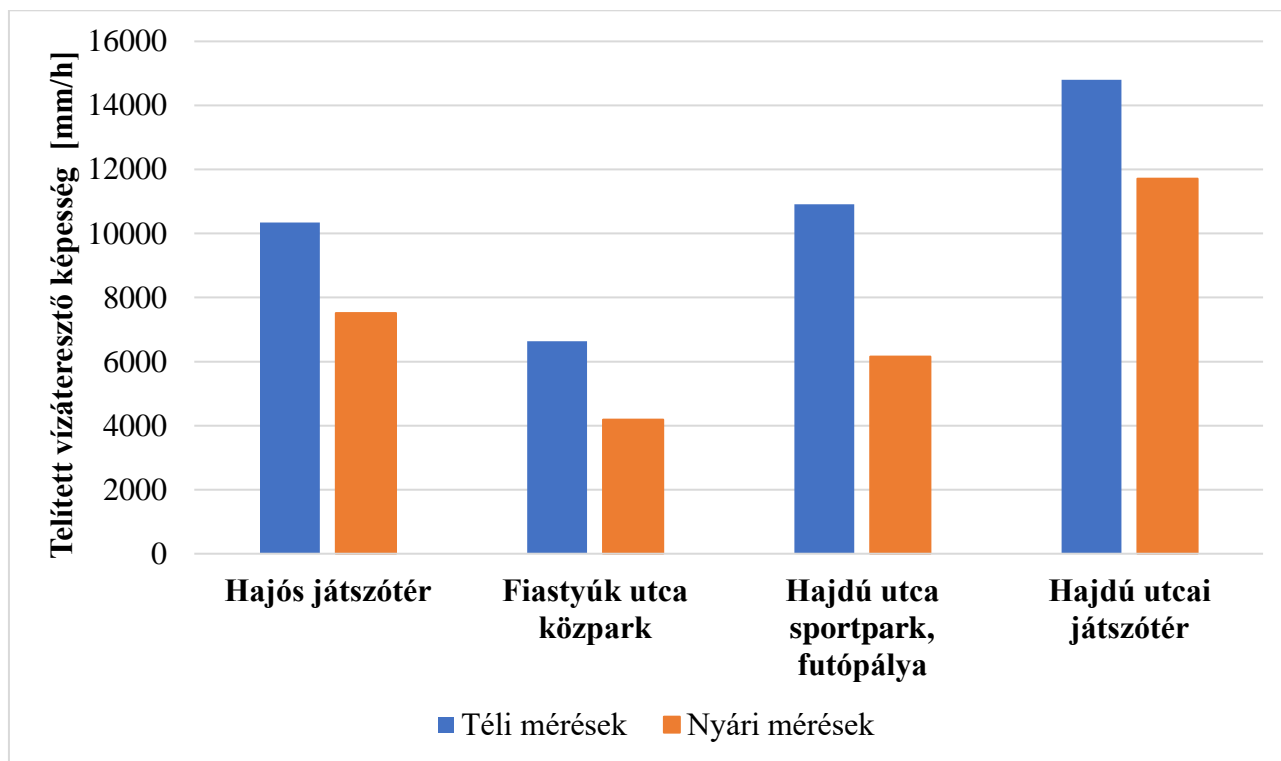


10. ábra A burkolatok telített vízáteresztő képessége a burkolat beépítési évének függvényében, szennyezésnek jobban, illetve kevésbé kitett környezetben

A 10. számú ábrából jól látszik, hogy a szennyezésnek jobban kitett burkolatok vízáteresztő képessége általában kisebb értékekkel rendelkezik, mint azoké, ahol a szennyezés mértéke kisebb. Minkét kategóriát tekintve megfigyelhető itt is az áteresztő képességnek a csökkenő tendenciája.

5.3 Nyáron és télen mért vízáteresztő képesség értékeinek összehasonlítása

A 11. számú ábrán a Hajós játszótér, Fiastyúk utca közpark, valamint a Hajdú utca sportpark és játszótér átlagolt mérési eredményei vannak feltüntetve egy februári (téli), és egy augusztusi (nyári) mérés során.



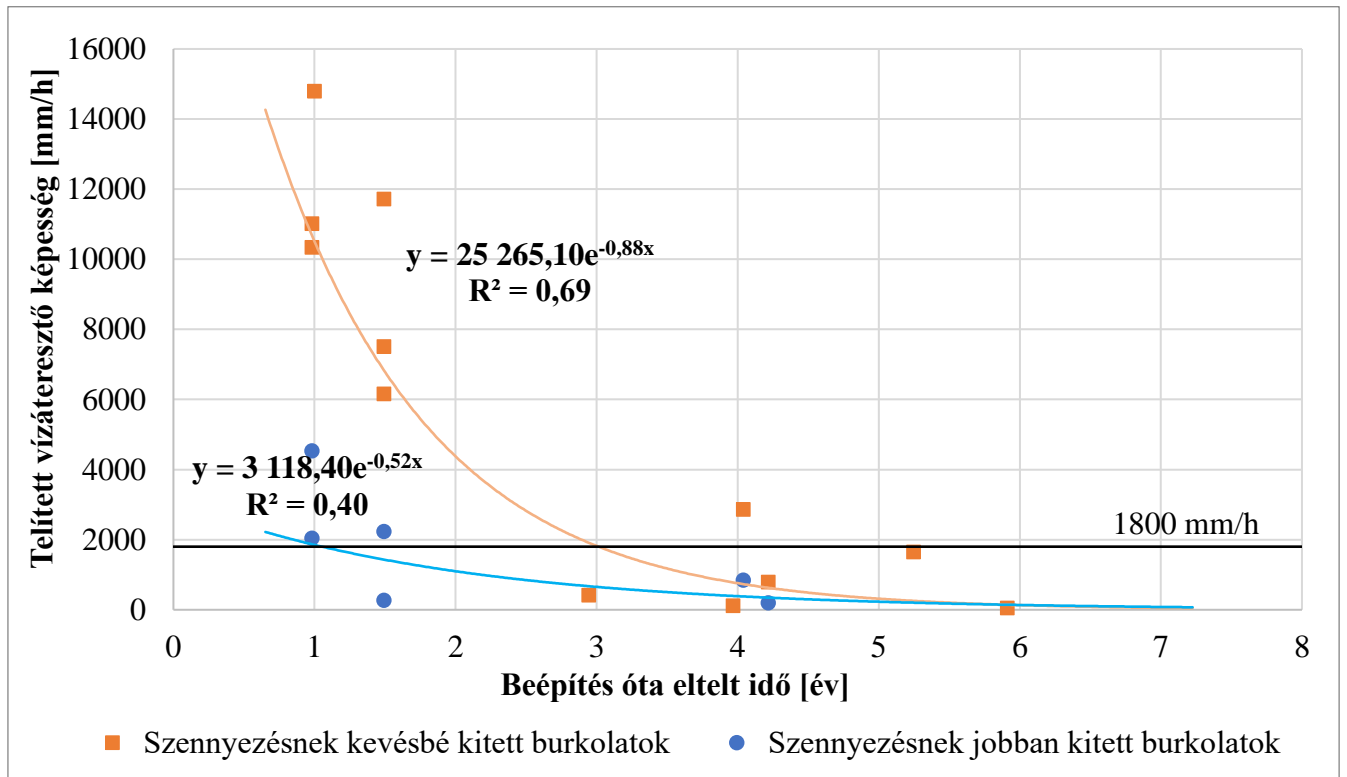
11. ábra A Hajós játszótér, Fiastyúk utca közpark, valamint a Hajdú utca sportpark és játszótér átlagos telített vízáteresztő képessége az augusztusban, februárban végzett mérések alapján

A 11. ábrából látható, hogy már fél év után jelentős különbségek alakulhatnak ki a burkolatok vízáteresztő képességében. Átlagosan kb. 2000-3000 mm/h-val csökkent a burkolatok vízáteresztő képességének értéke. Ennek oka lehet, hogy télen az adott felületeket kevesebb szennyeződés éri, illetve ilyenkor a használati igénybevételük is jelentősen alacsonyabb, mint nyáron. A nyár során például a játszóterek esetében rengeteg kisgyermek rohangál az adott burkolatokon, ezáltal jelentősebb a széthordott szennyeződés mértéke a burkolat felületén, ezáltal a burkolat pórusainak eltömődése is hamarabb be tud következni. Illetve, ha az évszakok hatását figyelmen kívül hagyjuk, akkor feltételezhetjük az eltömődés üteme fél év alatt 2000-3000 mm/h közötti.

6. Görbe illesztése az eltömődésre

6.1 Öntött gumi burkolatok

A 12. ábrán a gumi burkolatok mérési eredményei láthatóak a burkolat korának a függvényében a szennyezésnek jobban, illetve kevésbé kitett helyszínek alapján elkülönítve, valamint az eltömődés időbeli alakulásának leírását közelítő görbék.



12. ábra A burkolatok felszínének időbeli eltömődését leíró görbe, a szennyezésnek jobban, illetve kevésbé kitett gumi burkolatok esetében

Mindkét burkolat (a kevésbé és jobban szennyezett burkolatok) esetében is exponenciális görbét használtam a mért értékek közelítő leírásához.

A kevésbé szennyezett burkolatok esetében az alábbi közelítő összefüggést kaptam:

$$k_b = 25265,10 * e^{-0,88 * T} \quad (7)$$

A görbe illeszkedése megfelelő, a determinációs együttható: $R^2=0,69$.

A 12. számú ábra alapján látható, hogy a beépítéstől számított második évben már jelentősen csökkent a burkolat vízáteresztő képessége. Ezt a megállapítást a fentebb említett külföldi tanulmányok is alátámasztják más típusú/anyagú vízáteresztő burkolatok esetében is. Továbbá

láthatjuk, hogy a burkolatok teljesítőképessége már a harmadik év után 2000 mm/h alá csökken, amely a kezdeti 100000 mm/h-ás átlag értékhez képest 80%-os teljesítmény béli romlást mutat. A negyedik évet elérve pedig a görbe értéke nem éri el az 1800 mm/h-ás beszivárogtatási értéket sem. Mivel az általam vizsgált burkolat típusokra még nincsen előírás, ezért a viszonyításképpen a kisélemes burkolatokra vonatkozó értékhez [27] hasonlítottam a mért vízáteresztő képességeket. (lektorálás alatt) Az ötödik, hatodik évet elérve pedig a görbe egészen ellaposodik.

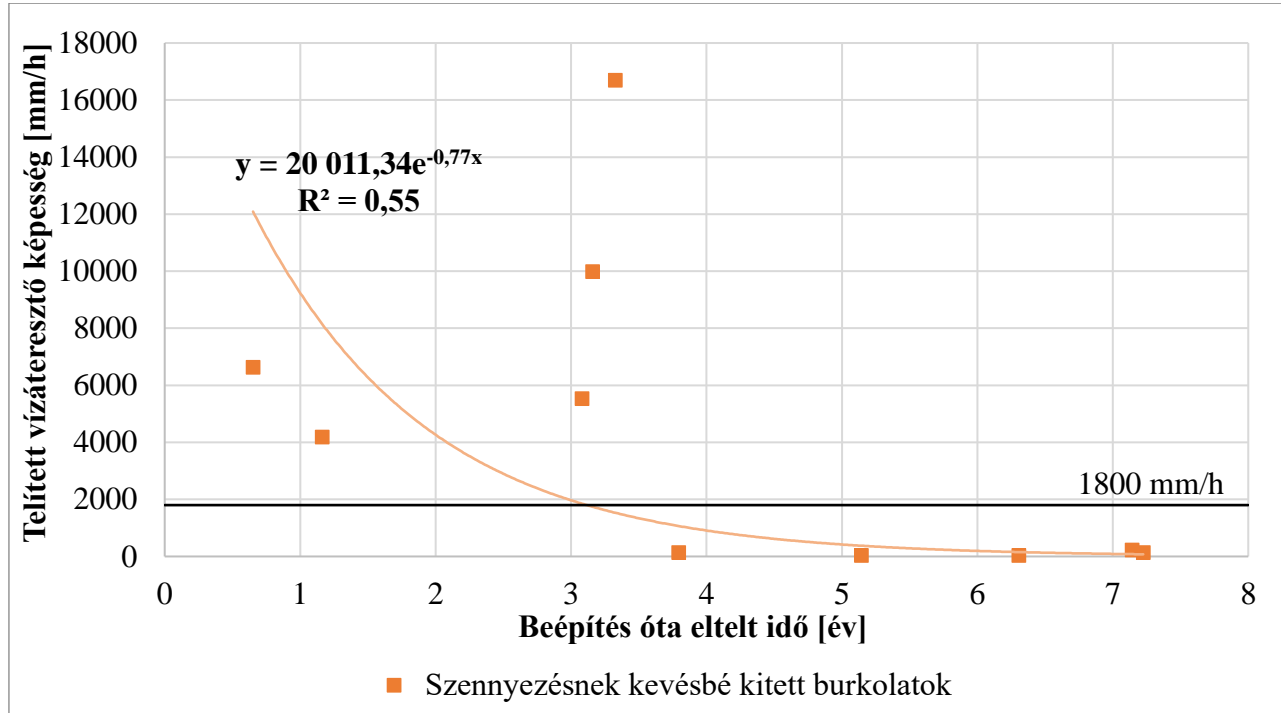
A szennyeződésnek jobban kitett burkolatok esetében pedig az alábbi közelítő összefüggést kaptam:

$$k_b = 3118,40 * e^{-0,52 * T} \quad (8)$$

Ebben az esetben a görbe illeszkedése már kevésbé jó ($R^2=0,49$). Az alakját tekintve már az elején egészen lapos, nincsen felfutó ága, a vége pedig már a harmadik, negyedik évet elérve egészen ellaposodik. Valamint ebben az esetben már a létesítéstől számított első év után nem éri el az 1800 mm/h-ás értéket. [27] Ez összhangban van az előzetes eredmény-várakozásokkal, hiszen ezek a mérési pontok nagyobb potenciális szennyezésnek voltak kitéve az eddigi élettartamuk alatt.

6.2 Szórt burkolatok

Az alábbi ábrán (13. ábra) a szórt burkolatok mérési eredményei láthatóak a burkolat korának a függvényében, valamint az eltömődés időbeli alakulásának leírását közelítő görbe.



13. ábra A burkolatok felszínének időbeli eltömődését leíró görbe, a szennyezésnek kevésbé kitett burkolatok esetében

Mivel a szennyezésnek jobban kitett mérési pontokból a szórt burkolatok esetében nagyon kevés állt rendelkezésre, ezért azokra nem került közelítő görbe.

A kevésbé szennyezett burkolatok esetében azonban az alábbi közelítő összefüggést kaptam:

$$k_b = 20011,34 * e^{-0,77 * T} \quad (9)$$

A 13. ábrából látszik, hogy a szennyezésnek kevésbé kitett szórt burkolati felületek méréséből is jelentősen kevesebb áll rendelkezésünkre, mint az öntött gumi burkolatok esetében, valamint a mérési eredmények is jobban szórnak. Ezért a görbét csak egy közelítő becslésként szabad figyelembe venni ($R^2=0,55$).

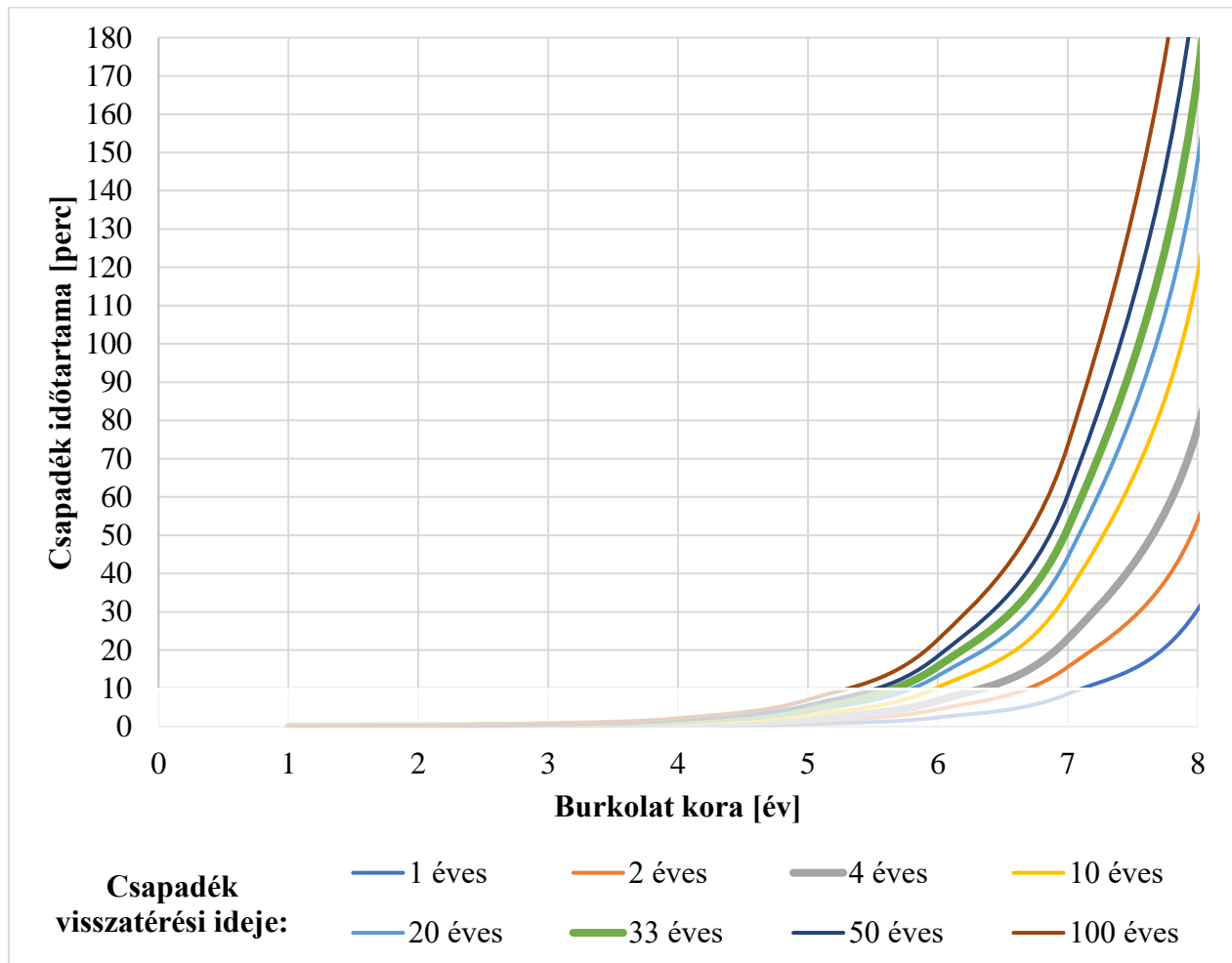
Ezt figyelembe véve a 13. ábra alapján elmondható azonban, hogy a szórt burkolatok esetében is jelentős állapot romlás következik be már a létesítést követő második évben, nagyságrendileg közel 50%-os visszaesés következik be a vízáteresztő képességben. Az 1800 mm/h-ás értéket szintén a harmadik év után nem tudják teljesíteni a görbe szerint. Azonban itt van néhány nagyobb kiugró

értékünk, az alábbi helyszíneken mért értékekről van szó: Dagály sétány, Népfürdő utca 21., Wein János park, melyek valószínűleg azért ilyen magasak, mert az adott burkolatok nincsenek kitéve rendszeres szennyező forrásoknak, valamint a folyamatos használatnak. Érdekes, hogy az adott területek önkormányzatával folytatott beszélgetés során kiderült, hogy érintett területeken nem alkalmaznak semmilyen speciális technikát a burkolatok felületének a tisztítására (mint például: magasnyomású mosóval történő átmosás). A görbe vége a negyedik, ötödik évet elérve szintén egészen ellaposodik.

7. Görbe értékeinek összevetése a csapadékintenzitás értékekkel

Az alábbiakban az öntött gumi burkolatok esetén kapott összefüggést vetem össze a Magyarországon használatos csapadékmaximum függvények értékeivel.

A felállított összefüggés -amely az alábbi ábrán (14. ábra) látható – megmutatja, hogy egy P visszatérési idejű csapadék esetén a burkolat milyen időtartamú csapadék elvezetésére képes, ha feltételezzük, hogy a vízáteresztő képessége együttható burkolat korával történő csökkenése az előző fejezetben kapott empirikus függvények szerint alakul.



14. ábra A burkolatok kora a csapadék időtartamának függvényében, a különböző visszatérési idejű csapadékok esetében

Tehát például: ha egy 10 perces időtartamú csapadék intenzitására méretezünk egy burkolatot, 4 éves visszatérési idővel, akkor a 14. ábra alapján leolvasható, hogy a burkolat kb. 6 éves kora után nem lesz képes elvezetni a méretezési csapadékot. Ez alapján pedig a tervezhető, hogy a burkolatot

mennyi idő elteltével kell tisztítani annak érdekében, hogy a vízátteresztő képessége továbbra is megfeleljen a tervezési értékének, illetve az előírásoknak.

Általánosságban elmondható, hogy a burkolatok átlagosan kb. 5 éves élettartamuk után érik el azt a kort, hogy szükségessé váljon a tisztításuk. Ezen öt év után éri el a vízátteresztő képességük azt az értéket, amely a magyarországi intenzív záporok intenzitás tartományába esik. Ekkorra már akkora lesz az eltömődés mértéke a burkolatok felületén, hogy kérdésessé válhat, hogy képesek-e elvezetni a tervezésükkor feltételezett csapadékintenzitást. A görbék lefutásából az is kiolvasható, hogy a tisztítás elmaradása esetén az 5. évet követően rohamosan növekszik azon csapadékok időtartama (tehát rohamosan csökken azon csapadékok intenzitása), amelyet a burkolat képes elszivárogtatni. Ennek azért van nagy jelentősége és azért fontos, hogy erre a tervezők felhívják az üzemeltetők figyelmét, mert a megépítést követő években a burkolat csapadékintenzitásokhoz viszonyított kiemelkedő vízátteresztő képessége azt a hamis illúziót keltheti, hogy az esztétikai célú tisztításon túlmenően nincs fenntartási teendő.

A 33 éves visszatérési időhöz tartozó görbe értékét kiemeltem a többi közül. Ennek oka, hogy az ÚME vonatkozó előírásai szerint a burkolatok minimális vízátteresztő képességének számításnál legalább ekkora visszatérési idejű, 10 perces csapadékhoz tartozó intenzitással kell számolni. Valamint szintén kiemeltem a 4 éves visszatérésű idejű csapadékhoz tartozó görbét, melyet gyakran alkalmazunk a tervezés során.

Összegzés

A hagyományos csapadékvíz-elvezetésen alapuló megoldások már nem kínálnak megfelelő alternatívákat a változó éghajlat és a települési vízgyűjtők lefolyásai okozta problémák kezelésére. A csapadékvíz gyors elvezetése helyett előtérbe kerültek azok a csekély beavatkozással járó, ún. zöld megoldások, melyek a település területére hulló csapadék visszatartását, tározását, párologtatását, és szivárgását segítik elő. Ezen megoldások közé tartoznak a vízáteresztő burkolatok is.

A vízáteresztő burkolatok hidrológiai méretezésének egyik legfontosabb része a felszíni beszivárogtató képesség meghatározása, mivel ez befolyásolja azt, hogy milyen intenzitású csapadék elnyelésére lesz képes a rendszer. A burkolat tisztításának hiánya és a nem megfelelően megválasztott, kialakított beépítési környezet a vízáteresztő képesség időbeli csökkenéséhez vezethet. Ennek vizsgálata rendkívül fontos, Magyarországon még nem készült felmérés arra vonatkozóan, hogy a korábban létesített burkolatok teljesítménye hogyan változott.

Kutatásom során műgyantával stabilizált szórt kavics és öntött gumi felületek vízáteresztő képességét vizsgáltam Budapesten belül 18 helyszínen. A mérések során az infiltrációs képességet szimpla gyűrűs módszerrel vizsgáltam.

A mérési eredmények alapján felállítottam olyan összefüggéseket, amelyek kapcsolatot teremtenek a burkolat kora és a vízáteresztő-képességi együtthatója között.

Ezen leíró görbéket összevettem a méretezésnél alkalmazott csapadékintenzitásokkal.

Az előzetes várakozásoknak megfelelően a burkolatok mérési eredményeiből egyértelműen látszik a felszíni beszivárogtató csökkenő tendencia az idő előrehaladtával.

A szennyezésnek jobban kitett mérési pontok eredményei alapján megállapítható, hogy ezeken a pontokon a burkolat vízáteresztő képessége kisebb, mint azon pontok esetében, melyek kevésbé vannak kitéve a szennyeződések hatásainak.

A téli és a nyári mérések összevetése alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a burkolatok vízáteresztő képessége már fél év után jelentősen csökkenhet, akár 2000-3000 mm/h-val.

A mérési eredményekre illesztett görbék alapján - a szennyezésnek kevésbé kitett mérési pontokat tekintve - mindkét burkolat típus esetében már a beépítést követő második évben jelentős mértékben csökkent a felület vízáteresztő képessége, ez nagyságrendileg közel 50-60 %-os romlást

mutat. A görbék alapján továbbá láthatjuk, hogy az 1800 mm/h-ás értéket három éves koruk után már nem képesek teljesíteni.

A szennyezésnek jobban kitett pontokat leíró görbe (öntött gumi burkolat estében) alapján elmondható, hogy a potenciálisan nagyobb szennyezésnek kitett burkolatok felületének áteresztő képessége nagyságrendekkel rosszabb, mint a szennyezésnek kevésbé kitett burkolatoké. Az 1800 mm/h-ás értéket már a létesítésétől számított első év után nem képes teljesíteni.

A csapadékintenzitás értékeivel összevetve a leíró görbe értékét (öntött gumi burkolatok, szennyezésnek kevésbé kitett esetben) pedig elmondható, hogy a burkolatok átlagosan kb. 5 éves élettartamuk után érik el azt a kort, hogy tisztításuk szükségessé váljon, valamint ezen öt év után éri el a vízáteresztő képességük azt az értéket, amely a magyarországi intenzív záporok intenzitástartományába esik.

A kutatás folytatásának első lépéseként érdemes lenne megvizsgálni, hogy a szimpla-gyűrűs módszerrel történő mérés milyen nagyságrendű hibát eredményez a vízáteresztő képességi együttható becslésében. Ehhez (és a további mérésekhez) a dupla-gyűrűs módszer vízszint-tartási problémáit például Mariotte-palackkal lehetne megoldani.

A vizsgálatba vont burkolatok várhatóan a következő években fognak olyan mértékben kolmatálódni, hogy a hazai viszonyok között jellemző nagyintenzitású csapadékok már meghaladják a telített vízáteresztő képességi együtthatóikat, vagyis a beszivárgás víznyelési szakaszának kimérése tervezésben is hasznosítható információt szolgáltatasson.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani konzulenseimnek Varga Laurának és Ács Tamásnak, akik nélkül ez a dolgozat nem jöhetett volna létre. Szeretném megköszönni a sok segítséget, valamint a folyamatos támogatást és biztatást, mellyel végig kísérték a munkámat.

Valamint szeretném megköszönni családomnak és barátaimnak, hogy a terepi mérések során elkísértek és segítettek a munkámat.

Felhasznált források:

- [1] Köles Péter. 2011. Települési csapadékvíz gazdálkodás, Szent István Egyetem. Egyetemi jegyzet.
- [2] CIRIA. 2015. The SuDS Manual. URL:
<https://www.ciria.org/CMDownload.aspx?ContentKey=14d9414a-8ae9-4ba5-b62e-5779cc392015&ContentItemKey=a97fe153-1306-4a4c-b1ff-f11d6bb99f28>
- [3] American Society of Civil Engineers (ASCE). 2013. Permeable Pavements. Recommended Design Guidelines.
- [4] 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
- [5] Gáspár László - A közlekedési felületek és a légköri csapadék; ÚTÜGYI LAPOK 2017; 5. ÉVFOLYAM, 2. SZÁM
- [6] Gayer J., Ligetvári F. 2007. Települési vízgazdálkodás csapadékvízvezetés. Környezetvédelmi és Vízügyi minisztérium.
- [7] Buzás Kálmán. 2015. Települési csapadékvíz-gazdálkodási útmutató: A jó gyakorlat. BME. Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék.
- [8] Dulovics Dezsőné, Dulovics Dezső. A csapadékterhelés hatásai és csökkentésük egyes módszerei; MaSzeSz Hírsatorna 2005/9-10.Sz.
- [9] Csizmadia Dóra. 2018. ZÖLDINFRASTRUKTÚRA FÜZETEK 3.: VÍZÉRZÉKENY TERVEZÉS A VÁROSI SZABADTEREKEN. Budapesti Fővárosi Főpolgármesteri Hivatal
- [10] Almási Balázs, Csizmadia Dóra. 2016. ZÖLDINFRASTRUKTÚRA FÜZETEK 1.: VÍZÁTERESZTŐ BURKOLATOK - Vízáteresztő burkolattípusok alkalmazásának útmutatója. Budapest Főváros Városépítési Tervező Kft.
- [11] 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>

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

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

[14] 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>

[15] Philip J. R. 1957. The theory of infiltration: 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations. Soil Science 84 (3), pp. 257-264.

[16] Horton, R. E. 1933. The role of infiltration in the hydrologic cycle. Trans. Am. Geophys. Union. 14th Ann. Mtg (1): pp. 446–460.

[17] Ferguson, B.K. 2006. Porous Pavements The Making of Progress in Technology and Design. 8th International Conference on Concrete Block Paving, november 6-8, 2006 San Francisco, California USA. URL: <http://www.sept.org/techpapers/1290.pdf>

[18] 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>

[19] 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>

[20] Wisconsin Department of Natural Resources Conservation Practice Standard – Permeable Pavement (1008). URL: <https://dnr.wi.gov/topic/stormwater/documents/1008PermeablePavement.pdf>

- [21] Buzás Kálmán. 2015. Víz a városban: alkalmazkodás a klímaváltozáshoz. BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék
- [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 (2015) 14 – 28. URL: http://jestec.taylors.edu.my/Special%20Issue%20ACEE%202015/UTM_ACEE_014-028.pdf
- [23] 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, 6-8 November 2006, San Fransisco, California, USA. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.365.9174&rep=rep1&type=pdf>
- [24] 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,
- [25] Mostafa Razzaghmanesh, Simon Beecham, A Review of Permeable Pavement Clogging Investigations and Recommended Maintenance Regimes, Water 2018, 10, 337
- [26] Kelly Diane Hill, Simon Beecham, The Effect of Particle Size on Sediment Accumulation in Permeable Pavements, Water 2018, 10, 403
- [27] Útügyi Műszaki Előírás: KISELEMES BURKOLATOK, e-UT 06.03.4x számú, (jelenleg lektorálás alatt)
- [28] 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, pp. 117-130.
- [29] Szabó, Norbert Péter és Dobróka, Mihály és Hursán, László (2015) Édesvíztárolók szivárgási paramétereinek meghatározása a Csókás eljárás alkalmazásával. Magyar Geofizika, 56 (2). pp. 70-82. ISSN 0025-0120

Internetes források:

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

Felkeresés időpontja: 2020. 07.15.

[31] 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: 2020. 07.15.

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

Felkeresés időpontja: 2020. 07.15.

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

Felkeresés időpontja: 2020. 07.15.

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

Felkeresés időpontja: 2020. 07.15.

[35] <http://www.terraway.hu/>

Felkeresés időpontja: 2020. 07.15.

[36] <https://terraway.eu/product-information/>

Felkeresés időpontja: 2020. 07.15.

Mellékletek

1. számú melléklet: Az egyes helyszíneken mért vízáteresztő képesség értékei [mm/h]

Helyszín	Létesítés éve	Burkolat típusa	Vízáteresztő képesség [mm/h]				Mérés időpontja
			1. számú mérési pont	2. számú mérési pont	3. számú mérési pont	4. számú mérési pont	
Budapest, Romkert (Rudas fürdő mellett)	2013	szórt kavics	145,60	39,04			nyári mérések
Rákóczi tér, favermek	2013	szórt kavics	326,89	131,94			
Bikás park pinpong asztalok	2014	szórt kavics	42,44	42,44			
Laktanya utca park, futópálya	2014	öntött gumi	73,75	39,27			
Duna játszótér	2015	öntött gumi	1793,30	1506,79			
Budai vár oldala (Hilton)	2015	szórt kavics	38,77	31,97			
Budapest, Pesti út 124.	2016	szórt kavics	159,55	116,17	146,10		
Kalóztenger játszótér	2016	öntött gumi	195,73	679,06	906,22		
Nehru part játszótér	2016	öntött gumi	925,99	774,01	2861,21		
Ferenc tér játszótér	2016	öntött gumi	195,73	39,12			
Dagály sétány	2017	szórt kavics	16428,90	16976,53			
Népfürdő utca 21.	2017	szórt kavics	10185,92	9794,15			

Wein János park	2017	szórt kavics	8214,45	2861,21	116,65	61,70	
Wein János park, játszótér	2017	öntött gumi	507,27	335,95			
Hajós játszótér	2018	öntött gumi	2893,73	274,41	12126,09		
Fiastyúk utca közpark	2019	szórt kavics	3068,05	5305,16			
Hajdú utca sportpark, futópálya	2019	öntött gumi	1872,41	6529,43	2598,45	5787,45	
Hajdú utcai játszótér	2019	öntött gumi	14551,31	10610,33	9986,19		
Hajós játszótér	2018	öntött gumi	4774,65	2046,28	15915,49		téli mérések
Fiastyúk utca közpark	2019	szórt kavics	5729,58	7538,92			
Hajdú utca sportpark, futópálya	2019	öntött gumi	5729,58	11018,42	3331,15	10810,52	
Hajdú utcai játszótér	2019	öntött gumi	16851,70	12732,40	14817,87		

2. számú melléklet: Beszivárgás mérési jegyzőkönyv minta

Beszivárgás mérés jegyzőkönyv										
Helyszín:	Hajós játszótér			Időpont:	2020.08.12					
Koordináta:	N:	47°32'33.0"		E:	19°04'49.0"					
	EOVX:	244288		EOVY:	652470					
Burkolat típusa:	Öntött gumi burkolat									
Gyűrű belső átmérője:	300	[mm]	Időjárás:	Napos, +31 C°						
Előnedvesítés										
1. számú mérés		2. számú mérés		3. számú mérés		4. számú mérés				
V _{en} [liter]	t _{en} [sec]	V _{en} [liter]	t _{en} [sec]	V _{en} [liter]	t _{en} [sec]	V _{en} [liter]	t _{en} [sec]			
5,0	74,0	5,0	785,0	5,0	26,0	-	-			
Mérések										
1. számú mérés		A				3. számú mérés		A		
V _{teszt} [liter]	t [sec]	D [mm]	k _b [m/s]	k _b [mm/h]		V _{teszt} [liter]	t [sec]	D [mm]	k _b [m/s]	k _b [mm/h]
5,0	75	300	0,000943	3395,3		10,0	42	300	0,003368	12126,1
1. számú mérés		B				3. számú mérés		B		
V _{teszt} [liter]	t [sec]	D [mm]	k _b [m/s]	k _b [mm/h]		V _{teszt} [liter]	t [sec]	D [mm]	k _b [m/s]	k _b [mm/h]
5,0	88	300	0,000804	2893,7		10,0	35	200	0,004042	14551,31
1. számú mérés	k _{min} [m/s]	0,000804		2893,73 [mm/h]		3. számú mérés	k _{min} [m/s]	0,003368		12126,09 [mm/h]
2. számú mérés		A				4. számú mérés		A		
V _{teszt} [liter]	t [sec]	D [mm]	k _b [m/s]	k _b [mm/h]		V _{teszt} [liter]	t [sec]	D [mm]	k _b [m/s]	k _b [mm/h]
5,0	928	300	0,000076	274,4		-	-	-	-	-
2. számú mérés		B				4. számú mérés		B		
V _{teszt} [liter]	t [sec]	D [mm]	k _b [m/s]	k _b [mm/h]		V _{teszt} [liter]	t [sec]	D [mm]	k _b [m/s]	k _b [mm/h]
5,0	750	300	0,000094	339,5		-	-	-	-	-
2. számú mérés	k _{min} [m/s]	0,000076		274,41 [mm/h]		4. számú mérés	k _{min} [m/s]	-		-
A burkolt felület átlagos vízáteresztő képessége:						k _{átlag}	0,001416 [m/s]		5098,1 [mm/h]	