

# ZINĀTNISKĀS LITERATŪRAS UN STARPTAUTISKĀS PIEREDZES APKOPOJUMS





Šis dokuments sagatavots ar Latvijas vides aizsardzības fonda administrācijas finansiālu atbalstu projekta **Ilgspējīgo lietus ūdeņu apsaimniekošanas risinājumu izmantošanas metodiskie norādījumi un projektēšanas vadlīnijas ietvaros**

**Projekta īstenotājs:**

Biedrība CLEANTECH LATVIA

**Projekta vadītāji:**

Evija Pudāne un Elizabete Betija Ozola

**Pētījuma autori:**

Jurijs Kondratenko, Daina Ieviņa,

Marta Zemīte, Floris Boogaard,

Ilze Rukšāne, Arnita Verza, Klinta Alpa-Šulmane

Informācijas pārpublicēšanas gadījumā  
atsauce uz pētījumu obligāta.

RĪGA  
2021

# SATURS

---

6	<b>LIETOTIE SAĪSINĀJUMI UN TERMINI</b>
12	<b>IEVADS</b>
14	<b>1. NODAĻA. RAKSTURĪGAIS NOKRIŠŅU NOTEKŪDEŅU SASTĀVS APDZĪVOTĀS VIETĀS PĒC SEGUMA VEIDIEM UN ZEMES LIETOŠANAS (APBŪVES) VEIDIEM</b>
15	PIESĀRŅOJUMA AVOTI
20	NORMATĪVAIS REGULĒJUMS
20	DZĪVOJAMĀ APBŪVE
24	KOMERCAPBŪVE
24	INDUSTRIĀLĀ APBŪVE
26	PARKI UN ATPŪTAS TERITORIJAS
27	CITAS TERITORIJAS
27	CEĻI
31	STĀVLAUKUMI
32	LIDOSTAS
32	DZELZCEĻI
33	<b>2. NODAĻA. DAŽĀDU ILGTSPĒJĪGO LIETUS NOTEKŪDEŅU ATTĪRĪŠANAS RISINĀJUMU POTENCIĀLS</b>
35	ATTĪRĪŠANAS PROCESI
39	PIESĀRŅOJUMA NOŅEMŠANA
46	FITOTEHNOLOĢIJAS
49	IEVALKAS
51	INFILTRĀCIJAS SISTĒMAS
52	FILTRĒJOŠĀS JOSLAS
53	DĪŅI
54	MĀKSLĪGĀS MITRAINES
55	BIOLOĢISKĀS FILTRĀCIJAS SISTĒMAS (BIOFILTRI), LIETUSDĀRZI
56	ZAĻIE JUMTI
57	CAURLAIDĪGS SEGUMS (BRUČIS, CAURLAIDĪGAIS ASFALTS, CAURLAIDĪGAIS BETONS)

# SATURS

---

58	<b>3. NODAĻA. APSTĀDĪJUMU UN AUGSNES NOZĪME ILŪA SISTĒMĀS</b>
61	AUGSNES NOZĪME ILŪA SISTĒMĀS
62	APSTĀDĪJUMU NOZĪME ILŪA SISTĒMĀS
63	APSTĀDĪJUMU IZVĒLES KRITĒRIJI
72	APSTĀDĪJUMU UN AUGSNES IESPĒJAS LIETUS ŪDENS KVALITĀTES UZLABOŠANĀ
73	<b>4. NODAĻA. ZAĻIE RISINĀJUMI LATVIJAI RAKSTURĪGOS KLIMATISKAJOS APSTĀKĻOS</b>
75	ILŪA SISTĒMU KAPACITĀTE ZEMĀ TEMPERATŪRĀ
76	HIDROLOĢISKĀ VEIKTSPĒJA SASALŠANAS APSTĀKĻOS
83	<b>5. NODAĻA. APSAIMNIEKOŠANA</b>
86	APKOPES PRINCIPI
87	INFRASTRUKTŪRAS DARBĪBAS DOKUMENTĒŠANA
88	MONITORINGS
89	<b>6. NODAĻA. TIPISKĀS KĻŪDAS</b>
92	<b>IZMANTOTĀ LITERATŪRA</b>

## LIETOTIE SAĪSINĀJUMI UN TERMINI

---

<b>BSP</b>	bioloģiskais skābekļa patēriņš	<b>ĶSP</b>	ķīmiskais skābekļa patēriņš
<b>BTEX</b>	benzolu, toluola, etilbenzola un ksilola indekss	<b>LR</b>	Latvijas Republika
<b>BZC</b>	benzalkonija hlorīds	<b>NOAH</b>	Baltijas jūras aizsardzība no neattīrītu notekūdeņu ieplūdes pilsētu teritorijās plūdu laikā
<b>ET</b>	evapotranspirācija	<b>PAO</b>	policikliskie aromātiskie ogļūdeņraži
<b>ES</b>	Eiropas Savienība	<b>PFS</b>	perfluorētie savienojumi
<b>FIO</b>	fekālie indikatororganismi	<b>PHB</b>	polihlorētie bifenili
<b>GOS</b>	gaistošie organiskie savienojumi	<b>SV</b>	suspendētās vielas
<b>ILŪA</b>	ilgtspējīga lietus ūdens apsaimniekošana		
<b>KSV</b>	kopējās suspendētās vielas		

## BIEŽĀK LIETOTIE ILŪA RISINĀJUMU VEIDU TERMINI



**Dīķis** (angl. pond, retention basin) – pastāvīgi ūdeni saturošs baseins, kas nodrošina virszemes noteces samazināšanu ar akumulāciju, kā arī tās attīrīšanu, primāri ar sedimentāciju. Dīķos notiek arī barības vielu uzņemšana caur bioloģisko aktivitāti. Zem ūdens un piekrastē augošie augi nodrošina vidi bioplēves attīstībai, kura turpmāk pārstrādā barības vielas (Woods Ballard u.c., 2015).



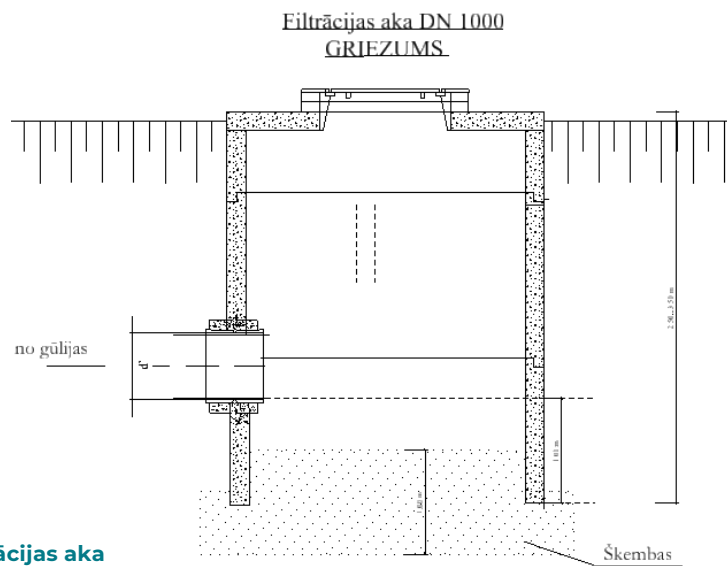
**Grāvis** (angl. ditch) – Grāvis ir nosusināšanas sistēmas būve, kura uztver ūdens noteci no nosusināmās platības lietus kanalizācijas tīkla vai virszemes noteces un novada to līdz citai ūdensnotekai vai ūdenstilpei. Pēc konstrukcijas veida grāvji un ievalkas ir līdzīgas. Grāvjus no ievalkām atšķir dziļums. Par grāvi sāk uzskatīt noteiktas formas, raktu padziļinājumu no 0.5 m dziļuma, savukārt grāvji, kas ir seklāki par 0.5 m, tiek dēvēti par ievalkām. Vidējais grāvju dziļums parasti ir 0.7 – 2.5 m. Lielāki grāvji parasti ir maģistrālie un jau tiek veidoti kā kanāli. Grāvju forma parasti ir trapecveida. Novadgrāvju un ūdensnoteku šķērsprofilu parametrus (dziļumu un dibena platumu) nosaka ar hidraulisko aprēķinu, bet nogāžu slīpuma koeficientus pieņem atkarībā no grunts apstākļiem.

**Filtrējošās joslas** (angl. filter strip) – lēzenas ar zālāju vai citu blīvu veģetāciju apaugušas joslas, kas paredzētas dažādu ūdens necaurlaidīgo virsmu noteces attīrīšanai. Tajās darbojas tādi procesi kā izgulsnēšanās un filtrācija un atsevišķos gadījumos arī infiltrācija, līdz ar to ir būtiski nodrošināt, ka ūdens plūst ar pietiekoši mazu ātrumu. Filtrējošās joslas pārsvarā izmanto kā priekšattīrīšanas posmu pirms ūdens ieplūšanas ievalkās vai bioloģiskās filtrācijas sistēmās un tranšējās, bet tās iespējams izmantot arī kā patstāvīgas sistēmas, ja ūdens plūsmas ceļš ir pietiekoši garš.

**Ievalkas** (angl. swale) – sekli, ar veģetāciju (tipiski, zālāju) apauguši kanāli ar lēzenām sānu nogāzēm, kas paredzēti virszemes noteces mazināšanai, novadīšanai un attīrīšanai. Ievalkām tipiskais dziļums ir 0.3-0.4 m un slīpuma proporcija – 1:2 līdz 1:3. Ievalkas var sīkāk iedalīt četrās kategorijās (Fardel u.c., 2019):

- Standarta ievalkas, kas ietver sevī ar dabisko zālāju apaugušas ieplakas vai kanālus
- Sausās ievalkas, kas ietver sevī ievalkas ar smilšainām, viegli caurlaidīgām augsnēm vai mākslīgi veidotiem slāņiem, kas veicina ātru ūdens infiltrāciju, kā arī piesārņojuma noņemšanu filtrācijas procesā caur attiecīgiem slāņiem
- Mitrās ievalkas, kur ir raksturīgi mitrājiem līdzīgi apstākļi, piem., ūdens uzkrāšanās, un ūdenī augoša veģetācija
- Bioievalkas, kas sevī apvieno veģetācijas slāni, mākslīgi veidotos filtrējošos slāņus zem tā, kā arī tie var iekļaut drenāžas cauruļvadu vai necaurlaidīgu ģeotekstila slāni, kas novērstu jebkāda piesārņojuma infiltrēšanos gruntsūdeņos





**Infiltrācijas aka**

**Infiltrācijas aka** (angl. soakaway) – izrakumi, kas ir piepildīti ar tukšumu veidojošu materiālu, kas ļauj īslaicīgi uzglabāt ūdeni, pirms tas iesūcas zemē. Uzglabāšanas vieta veidota no lieliem akmeņiem, ģeošūnu sistēmas (geocellular system) vai citiem materiāliem, kas ļauj īslaicīgi aizturēt un uzglabāt lietusūdeni.



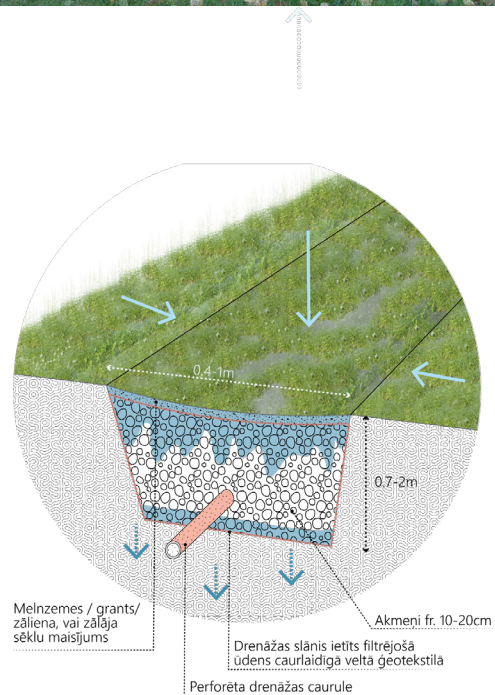
**Infiltrācijas baseins**

**Infiltrācijas baseini** (angl. infiltration basin, detention basin) – sekli, ar veģetāciju apauguši padziļinājumi/ieplakas ar līdzenu virsmu, kas uzglabā noteces ūdeni, veicinot piesārņojuma izgulsnēšanos un filtrāciju pirms ūdens infiltrējas zemē. Tie ir sausi, atskaitot intensīvu lietusgāžu periodus.





**Infiltrācijas lauki** (angl. infiltration basin) – lielas un seklas sistēmas, kuras parasti izbūvē, izmantojot caurlaidīgus materiālus vai ekstensīvās infiltrācijas pazemes vienības.



**Infiltrācijas tranšejas** (angl. infiltration trench) – lineāras infiltrācijas akas. Atšķirība ir tāda, ka tās var būt ne tik dziļas un vienmērīgāk sadalīt infiltrējamo ūdeni, mazinot sliktākas caurlaidības grunts ietekmi. Tranšēju konstrukcijā var arī tikt iekļauta perforēta caurule, kas sekmēs ūdens sadali sistēmā.

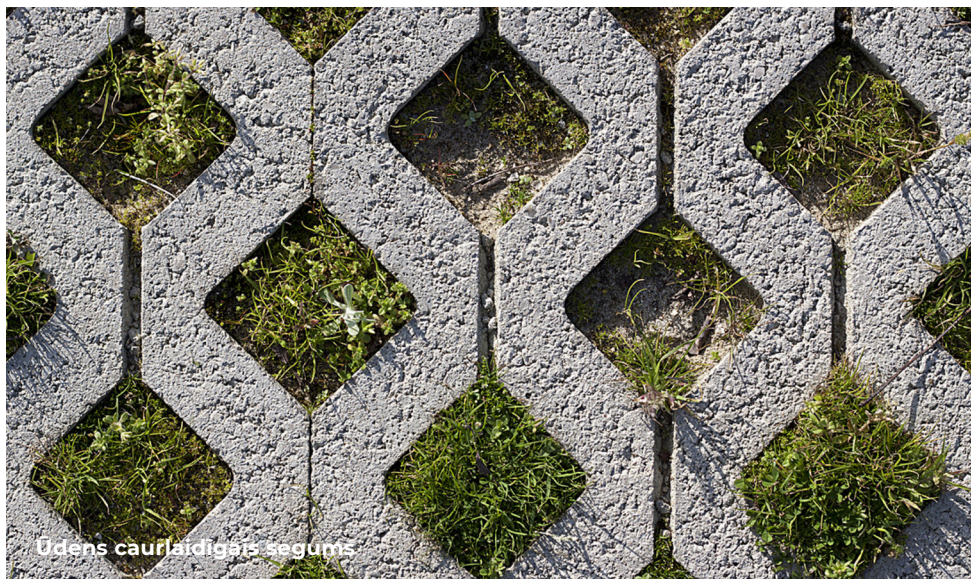
**Infiltrācijas tranšēja**



**Lietus dārzi** (angl. rain garden) – tiek pielietoti lietus ūdeņu attīrīšanai no piesārņojošajām daļiņām, izmantojot augsnes un dažādu augu biofizikālos un ķīmiskos attīrīšanas procesus. Notece tiek novadīta uz bioaizturēšanas elementu – lietus dārzu. Lietus dārzs veidots no dažādiem materiāliem, savietojot tos kārtās. Virskārtu veido dažāda veida augi kopā ar auglīgo augsni, savukārt zemākos slāņus veido smilts un grants kārtu kombinācijas. Šāda veida uzbūve nodrošina vienmērīgu lietus ūdeņu uztveršanu, novadīšanu un recirkulāciju. Ņemot vērā lietus dārzu nelielos izmērus, tie parasti tiek pielietoti lokālā mērogā, lai gan šādā veidā ir iespējams veikt lietus ūdeņu apsaimniekošanu arī lielākās platībās, savienojot vienotā sistēmā vairākus atsevišķus aizturēšanas risinājumus, katrs no kuriem apkalpo mazāku apakšbaseinu. Ņemot vērā konkrēto vietējo kontekstu, lietus dārzi var tikt būvēti ar pārteci uz lietus kanalizācijas (drenāžas) sistēmu, vai arī bez tās, nodrošinot ūdens novadīšanu tikai caur infiltrāciju un evapotranspirāciju.



**Mākslīgās mitraines jeb mitrāji (arī mitrzemes)** (angl. wetlands, constructed wetlands) – pastāvīgi ūdeni saturoši dažādu dziļumu baseini, kuros būtiska loma ir arī virszemes un zemūdens veģetācijai. Tiem raksturīga purvainā vide, un tajos tiek sekmēti tādi attīrīšanas procesi kā adsorbcija uz veģetācijas virsmas, sedimentu aizture un resuspensijas risku mazināšana ar blīvu veģetāciju un aerobā piesārņojošo vielu sadalīšanās (Woods Ballard u.c., 2015). Mākslīgās mitraines var iedalīt trīs pamatveidos pēc ūdens plūsmas tajās: zem-virsmas plūsmas, ūdens virszemes plūsmas un plostveida jeb peldošās, attīrošās mitraines.



**Ūdens caurlaidīgais segums** (angl. permeable pavement) – tas ļauj ūdenim plūst vertikāli caur dažādām cietām virsmām, palīdzot samazināt noteces apjomu. Caurlaidīgos segumus var sīkāk iedalīt daļēji caurlaidīgajos segumos ar veģetāciju (betona eko-brūģis, stiprināts zāliens) un daļēji caurlaidīgos segumos bez veģetācijas (piemēram, betona brūģis, caurlaidīgs asfalts vai betons, grants, smilts, šķembas).



**Zaļie jumti** (angl. green roof) – ar veģetāciju apaugušas zonas uz ēku jumtiem, kas iedalās ekstensīvajos (ar seklu augsnes kārtu un vienkāršu veģetāciju) un intensīvajos (ar biežāku augsnes kārtu un daudzveidīgu veģetāciju, līdz ar to tie var būt saukti arī par jumtu dārziem). Zaļie jumti veido daudzpakāpju sistēmu, kas ar veģetāciju nosedz ēkas jumtu vai paaugstinājumu. Tie visefektīvāk samazina noteces apjomu un samazina maksimālās plūsmas ar ūdens aizturi un iztvaikošanu. Šie jumti sastāv no substrāta, veģetācijas un dažādiem izolācijas un hidroizolācijas slāņiem.

## IEVADS – PAMATOJUMS UN LIETOJUMS

---

Saskaņā ar Latvijas pielāgošanās klimata pārmaiņām plānu laika posmam līdz 2030. gadam klimata pārmaiņu ietekmē palielināsies nokrišņu intensitāte un biežums, kas nosaka lietus ūdeņu apsaimniekošanas problēmu aktualitāti. Projekta rezultātā izstrādātie metodiskie norādījumi un projektēšanas vadlīnijas ir vērtīgs atbalsts pašvaldībām, plānojot un īstenojot klimata pārmaiņu pielāgošanās pasākumus, t.sk. stipru nokrišņu izraisītu plūdu risku, pārmērīga sausuma un paaugstinātas gaisa temperatūras un citu ar klimata pārmaiņām saistītu izaicinājumu mazināšanas pasākumus ES fondu plānošanas periodā no 2021. g. – 2027. g. Kā arī šis metodiskais materiāls sniedz ieguldījumu Plūdu riska pārvaldības plānu 2022. g. – 2027. g. izstrādē.

Pētījumi liecina, ka politika, kas saistīta ar pielāgošanos klimata pārmaiņām tiek ieviesta lielākajā daļā Eiropas Savienības valstu, taču daudzas no tām, ieskaitot Latviju, atpaliek uz kopējā fona. Lai attīstītu un ieviestu integrētu pieeju šajā jautājumā, būtu nepieciešams veidot ciešu sadarbību starp dažādām ieinteresētajām pusēm – valsts institūcijām, pašvaldībām, nevalstiskajām organizācijām, privāto sektoru un sabiedrību (Melece, Shena, 2019). Latvijas teritorijā ir veikta virkne pētījumu, kas analizē nokrišņu daudzuma pieaugumu klimata pārmaiņu rezultātā, izmaiņas gada mēnešos, nākotnes prognozes un scenārijus u.c. Piemēram, LVĢMC 2017. gada ziņojumā “KLIMATA PĀRMAIŅU SCENĀRIJI LATVIJAI” ir apzinātas un novērtētas līdzšinējo klimata pārmaiņu izpausmes un nākotnes klimata pārmaiņu scenāriji laika periodam līdz 2100. gadam Latvijas teritorijai, kā arī izstrādāts klimata pārmaiņu rīks. Tomēr daudzo pētījumu ieteikumu ieviešana likumdošanā ir gausa, un plānojot un projektējot nokrišņu novadīšanas

infrastruktūru netiek prasīts ņemt vērā klimata pārmaiņu ietekmi (CleanTech Latvia, 2019). Pētījumā “Normatīvā regulējuma apskats un priekšlikumi tā izmaiņām lietus ūdens apsaimniekošanas jomā” (2019) izcelts arī tas, ka Latvijā spēkā esošajos normatīvajos aktos nokrišņu notekūdeņu novadīšanas apsaimniekošanas risinājumi nav definēti kā inženierbūves un nav ieviesti normatīvi vai standarti to projektēšanai un būvniecībai, uzraudzībai, kā arī nav noteikti vienoti principi to ekspluatācijai un ūdens attīrīšanas kvalitātei. Līdz ar to, šis pētījums ir pirmais solis ceļā uz to, lai tiktu veidoti skaidri vienoti principi un kritēriji darbībām, kas attiecas uz nokrišņu notekūdeņu novadīšanas ilgtspējīgu risinājumu pielietošanu un ieviešanu praksē, jo starptautiskā pieredze rāda, ka ilgtspējīgie lietus ūdens apsaimniekošanas risinājumi ir efektīvi lietus notekūdeņu attīrīšanā.

**Šī ir projekta I DAĻA, kurā veikts zinātniskās literatūras un starptautiskās pieredzes apkopojums par Latvijas specifikai atbilstošu ilgtspējīgo lietus ūdens apsaimniekošanas risinājumu (lietus dārzu, ievalku, bioievalku, dīķu, ūdens caurlaidīgā seguma u.c.) izmantošanu lietus notekūdeņu attīrīšanai dažādās apbūves situācijās un dažādiem segumiem.**

Praksē ir pielietojami dažādu veidu ilgtspējīgie nokrišņu notekūdeņu apsaimniekošanas risinājumi nokrišņu notekūdeņu attīrīšanai (lietus dārzi, ievalkas, bioievalkas, mitrzesmes, dīķi, ūdens caurlaidīgie segumi u.c.), taču būtiski ņemt vērā no kādām virsmām lietus ūdeņu notece teritorijā veidojusies. Lietus ūdeņu noteces virsmas veids ietekmē ne vien lietus ūdeņu ķīmisko sastāvu, bet arī piemērotākā lietus ūdeņu apsaimniekošanas risinājuma izvēli to kvalitatīvai attīrīšanai. Katram no ilgtspējīgo lietus ūdeņu attīrīšanas risinājumiem ir sava specifika un efektivitātes kapacitāte, ko jāņem vērā izvēloties piemērotākos risinājumus konkrētās teritorijās, piemēram, lietus ūdeņu noteces ķīmiskais sastāvs ievērojami atšķiras ražošanas teritorijās un savrupmāju apbūves teritorijās. Ilgtspējīgo lietus ūdeņu risinājumu izvēlē konkrētās teritorijās būtiski ņemt vērā arī Latvijas klimatisko apstākļu specifiku, kas ietekmē lietus ūdeņu attīrīšanas risinājumu funkcionalitāti, piemēram, grunts sasalums, kas var veidoties ziemā. Nereti piemērotākais risinājums ir kombinācija starp konvencionālajiem un zaļajiem risinājumiem lietus ūdeņu attīrīšanā.

Projekta ietvaros ir izstrādāti metodiskie norādījumi par Latvijas specifikai atbilstošiem lietus notekūdeņu attīrīšanas risinājumiem dažādās apdzīvoto vietu (pilsētvides) apbūves situācijās un projektēšanas vadlīnijas konkrētiem risinājumiem. Cleantech Latvia 2018. gada veiktajā pētījumā “Normatīvā regulējuma apskats un priekšlikumi tā izmaiņām lietus ūdens apsaimniekošanas jomā”, konsultējoties ar sadarbības iestādi un nozares ekspertiem, tika definēta nepieciešamība izveidot vadlīnijas lietus notekūdeņu attīrīšanai tipiskajās situācijās, lai aizpildītu informācijas trūkumu par ilgtspējīgo lietusūdeņu apsaimniekošanas risinājumu potenciālu lietus notekūdeņu attīrīšanā, kas varētu kalpot par pamatu pašvaldību saistošo noteikumu izveidei par lietusūdeņu apsaimniekošanu pašvaldības teritorijā. Turklāt, izstrādātās projektēšanas vadlīnijas palīdzēs nozares profesionāļiem (ūdenssaimniecības projektētājiem, ainavu arhitektiem) projektēt attiecīgos ilgtspējīgos risinājumus. Šī projekta rezultāts ir noderīgs pašvaldību un nacionālajā līmenī, plānojot konkrētus plūdu riska mazināšanas pasākumus saskaņā ar plūdu riska pārvaldības plāniem. Rezultātā tiks sekmēta ilgtspējīga lietus ūdens apsaimniekošanas risinājumu izmantošana, uzlabojot apdzīvoto vietu noturību pret klimata pārmaiņām un samazinot ūdens objektu piesārņojumu.

## **1. NODAĻA**

RAKSTURĪGAIS NOKRIŠŅU NOTEKŪDEŅU SASTĀVS  
APDZĪVOTĀS VIETĀS PĒC SEGUMA VEIDIEM UN  
ZEMES LIETOŠANAS (APBŪVES) VEIDIEM

## PIESĀRŅOJUMA AVOTI

---

Nokrišņu notekūdeņi, veidojot virszemes noteci, paņem sev līdzī arī piesārņojumu, kas veidojas uz dažādām virsmām apdzīvotās vietās cilvēku darbības rezultātā. Lai izvairītos no ūdensobjektu, kur notiek šo notekūdeņu novadīšana, ūdens kvalitātes pasliktināšanās, ir jāveic noteces ūdeņu attīrīšana. Praksē tas ne vienmēr tiek darīts – vai nu, dalītās kanalizācijas sistēmas gadījumā, lietūs kanalizācija pa taisno izplūst ūdensobjektā bez jebkādas attīrīšanas, vai izplūst caur sedimentācijas akām, vai, kopsistēmas gadījumā, daļa no lietūs noteces tiek novadīta uz notekūdeņu attīrīšanas iekārtām, bet lielu lietūs gāžu laikā, kad cauruļvadu sistēma sasniedz savu kapacitāti, lietūs notekūdeņi kopā ar atšķaidītiem sadzīves notekūdeņiem caur kanalizācijas pārplūdēm var nonākt vidē bez jebkādas attīrīšanas.

Dažādu veidu piesārņojums, kas nonāk vidē, veidojas antropogēnas darbības rezultātā (skat. Attēls 1). Gaistošie vai gāzveida stāvoklī esoši savienojumi nonāk atmosfērā un uz dažādām virsmām (Müller u.c., 2020), kur tie līdz ar lietūs vai sniega kušanas ūdeņiem tiek aizskaloti vai nu uz attīrīšanas risinājumiem, vai nonāk pa taisno vides ūdensobjektos, kur piesārņojums var tikt izplatīts lielos attālumos no tā rašanās vietas (Horowitz, 2009; Gonzalez-Meler u.c., 2013).

Attēls 1 ataino, ka galvenie piesārņotāji ir suspendētās vielas, barības vielas (P, N), smagie metāli, policikliskie aromātiskie ogļūdeņraži (PAO), potenciāli patogēno mikroorganismu piesārņojums, ko mēra kā fekālos indikatororganismus (FIO). Arvien lielāka uzmanība tiek pievērsta arī mikropiesārņotājiem (piem. mikroplastmasai), kaitēkļu apkarošanas un tīrīšanas līdzekļu atlikumiem. Ziemas laikā aktuāls ir sāls un tās piejaukumu radītais piesārņojums. Tā kā būtiska dažādu vielu piesārņojuma daļa ir sasaistīta ar suspendētajām daļiņām (Ansaf, Mohamed un Lucke, 2013; Gonzalez-Meler u.c., 2013), svarīgs faktors ir ūdens pH, kuram paaugstinoties (piem., saskaroties ar betona ielu segumiem vai cauruļvadu materiāliem), var notikt pie suspendētajām vielām saistīto smago metālu desorbcija (Müller u.c., 2020), ar sekojošu to nonākšanu dabīgajās ūdenstilpnēs. Būtisks ir arī ūdens temperatūras paaugstināšanās faktors jeb termālais ūdens piesārņojums, piem., seklos ILŪA vai uz to virsmas, kas īpaši ietekmē aukstākos ūdeņos dzīvojošas zivis (Müller u.c., 2020).

## 1. attēls

### Nokrišņu notekūdens piesārņojuma avoti un ar tiem saistītie būtiskākā piesārņojuma veidi (pielāgots un papildināts no Müller u.c., 2020)<sup>1</sup>

#### ATMOSFĒRAS RADĪTIE NOSĒDUMI (sausie un mitrie)

GOS, KSV, barības vielas (N un P), metāli no transporta un vietējās industrijas (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Ti, V, W, Zn, Zr), PAO, pesticīdi, PFS, ksenoestrogēni

#### DRENĀŽAS VIRSMAS

- Ceļi
- Ūdens necaurlaidīgie segumi
- Ēku celtniecības materiāli  
(Jumti un drenāžas sastāvdaļas, fasādes)
- Dažādu struktūru virsma  
(Laternu stabi, barjeras)
- Parki un zālāji
- Atpūtas laukumi  
(bērnū, sporta, golfa u.c. laukumi)

(PAO, paaugstināts pH, Cr, SV, termālais piesārņojums)

(Termālais piesārņojums, paaugstināts pH, Cu, Zn, Cd, Pb, pesticīdi (diurons, terbutrīns, karbendazīms, irgarols 1051, BZC), Mekoprops, PHB, nonilfenoli, nonilfenola etoksilāti, ftalāti)

(Izšķīdušās organiskās vielas, barības vielas (P), pesticīdi, SV, mikroplastmasa, Zn, Cd, Pb, Cr, PAO, ftalāti, FIO)

#### SAĪSINĀJUMI:

<b>AP</b>	alkilfenoli	<b>GOS</b>	gaistošie organiskie savienojumi
<b>BPA</b>	bisfenols A	<b>KSV</b>	kopējās suspendētās vielas
<b>BSP</b>	bioloģiskais skābekļa patēriņš	<b>ĶSP</b>	ķīmiskais skābekļa patēriņš
<b>BTEX</b>	benzolu, toluola, etilbenzola un ksilola indekss	<b>PAO</b>	poliķīliskie aromātiskie ogļūdeņraži
<b>BZC</b>	benzalkonija hlorīds	<b>PBDE</b>	polibromētie difenilēteri
<b>FIO</b>	fekālie indikatororganismi	<b>PFS</b>	perfluorētie savienojumi

#### ANTROPOĢĒNĀ DARBĪBA

##### ■ Pārvietošanās ar transportu

Izplūdes gāzes (naftas ogļūdeņraži, PAO, NOx, BTEX, Ni; katalītiskie neitralizatori – Rh, Pd, Pt)

Transportlīdzekļu nodilums (riepas – KSV, Cd, Cu, Zn, PAO, mikroplastmasa; riepu radzes – W; bremzes – KSV, Cd, Cu, Ni, Pb, Sb, Zn, PAO; motors un korpuss – Cr, Ni; korpasa krāsojums – Pb; riepu atsvari – Pb, Fe (tērauds), Zn)

Ceļu nodilums (riepu izraisīts – KSV, PAO, mikroplastmasa)

Transportlīdzekļu magāšana (automazgātavas – Pb, Cd, Cr, Zn, ftalāti, nonilfenoli, nonilfenola etoksilāti)

##### ■ Industriālā aktivitāte

(tradicionālie piesārņotāji (īpaši augsti Zn, Cu un Pb rādītāji) un mikropiesārņotāji)

##### ■ Būvniecības norise

(KSV, N, P, smagie metāli, PAO, pesticīdi, dažādas ķīmiskās vielas, PHB, mikroplastmasa)

##### ■ Ceļu uzturēšana

Pretapledojuuma apstrāde (NaCl ar dažādiem piemaisījumiem)

Pretslīdes apstrāde (smiltis un grants) (KSV, lielākas daļiņas)

Ceļu tuneļu mazgāšana (Cu, Pb, Zn, PAO, tīrīšanas līdzekļi)

##### ■ Mēslošana, nelikumīga atkritumu izmešana, mājsaimniecības atkritumu izgāšana

(mikroplastmasa, ftalāti, BPA, PBDE, smagie metāli, nikotīns u.c.)

##### ■ Dārzkopība

(SV, barības vielas, organiskās vielas, pesticīdi)

##### ■ Mājdzīvnieki un savvaļas dzīvnieki

(FIO, barības vielas, farmācijas vielas, mazgāšanas līdzekļi)

##### ■ Ēku un dažādu struktūru mazgāšana

(biocīdi, mikroplastmasa, mazgāšanas līdzekļi)

#### NOKRIŠŅU NOTEKŪDEŅU APSAIMNIEKOŠANAS SISTĒMAS

##### ■ ILŪA infrastruktūra

(caurlaidīgie segumi – KSV; betona bruģis – paaugstināts pH, sulfāti; apzaļumotie risinājumi – metālu un dažādu ķīmisko vielu de-sorbicija; zaļie jumti – barības vielas, pesticīdi, SV, ĶSP; ILŪA risinājumu konstrukcijas materiālu izraisīts piesārņojums – ftalāti, BPA, AP; virszemes risinājumi – termālais piesārņojums; piesārņojuma uzkrāšana un izvadīšana)

##### ■ Lietusūdens kontroles pasākumi

■ Nepareizi savienojumi  
(atkarībā no savienojuma)

##### ■ Cauruļvadu materiāli

(betons – pH izmaiņas; cinkots gofrēts tērauds – Zn)

#### SAŅEMOŠIE ŪDEŅI

<sup>1</sup>Müller, A. u.c. (2020) "The pollution conveyed by urban runoff: A review of sources", Science of the Total Environment. Elsevier B.V., lpp. 136125. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.136125.



## 2. attēls

### Nokrišņu notekūdens piesārņojuma avoti un ar tiem saistītie būtiskākā piesārņojuma veidi (pielāgots no Langeveld, Liefing un Boogaard, 2012)

		Boogaard un Lemmen (2007) <sup>a</sup>	Bratieres et al. (2008) <sup>b</sup>	Salvia - Castellvi et al. (2005) <sup>c</sup>		Fuchs et al. (2004) <sup>d</sup>	Daligault et al. (1999) <sup>e</sup>	
		Nīderlandes datu vid. rādītājs (mediāna - 90. procentile)	Pasaule un Austrālija	vid. LVK St. Quirin (min - max)	vid. LVK Rte d'Esch (min - max)	mediāna (25. - 75. procentile)	vid. Brunoy (min - max)	vid. Vigneux (min - max)
KSV	mg/l	49 (20-150)	150	592 (30-2500)	131 (30-300)	141 (74-280)	158 (11-458)	199 (25-964)
BSP	mg/l	6.7 (4.0-14)	-	335 (8-1300)	30 (5-90)	13 (8-20)	10 (3-29)	17 (4-168)
ĶSP	mg/l	61 (32-110)	-	1152 (30-4800)	138 (25-400)	81 (5-113)	68 (18-299)	121 (26-561)
KN kop.	mg N/l	2.8 (1.7-5.2)	2.1	7.4 (1-24)	2.3 (0.6-7.8)	2.4 (2.1-5.8)	2.8 (1-12)	4.7 (1-50)
P kop.	mg P/l	0.42 (0.26-0.97)	0.35	3 (0.3-12)	0.7 (0.2-2)	0.42 (0.24-0.70)	0.56 (0.3-4.7)	1.1 (0.3-19.1)
Pb	µg/l	33 (12-75)	140	80 (20-130)	50 (20-90)	118 (46-239)	52 (2-210)	69 (4-404)
Zn	µg/l	194 (95-450)	250	3330 (80-11700)	1170 (500-4100)	275 (128-502)	607 (210-2900)	146 (30-640)
Cu	µg/l	26 (10-47)	50	170 (40-500)	70 (30-200)	48 (28-110)	23 (7-59)	24 (6-52)
E.coli	#/100 ml	3.4 x 10 <sup>4</sup> (10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup> )	-	-	-	-	-	-

a Nīderlandes STOWA datu bāze (versija 2.6, 2007), pamatojoties uz datiem par 10 monitoringa projektiem Nīderlandē, dzīvojamās un komerciālās rajonos, ar n sākot no 26 (SV) līdz 169 (Zn).

b "Tipiskās" piesārņotāju koncentrācijas, pamatojoties uz pasaules (Duncan, 1999) un Melburnas (Taylor et al., 2005) datu pārskatu.

c 2 novērošanas vietas Luksemburgā, dzīvojamie rajoni, n = 11 katrā vietā. Tiek ziņots, ka St. Quirin atrašanās vietai ir novērotinēliki savienojumi ar lietās kanalizāciju.

d ATV datu bāze, tāpat kā Duncan (1999), daļēji balstīta uz ASV EPA valsts mēroga nokrišņu notekūdens noteces programmu (NURP), n svārstās no 17 (KN kop.) līdz 178 (SV).

e Brunoy: 55% izglītības un sporta infrastruktūra, 45% dzīvojamā zona, Vigneux, dzīvojamā zona, n = 30 katrā atrašanās vietā.

#### SAĪSINĀJUMI:

<b>KSV</b>	kopējās suspendētās vielas	<b>Zn</b>	cinks
<b>BSP</b>	bioloģiskais skābekļa patēriņš	<b>Cu</b>	varš
<b>ĶSP</b>	ķīmiskais skābekļa patēriņš	<b>E.coli.</b>	Escherichia coli jeb zarnu nūjiņa (fekālais indikatororganisms)
<b>KN kop.</b>	kopējais Kjeldāla slāpekļis	<b>LVK</b>	lietusgāzes vidējā koncentrācija
<b>P kop.</b>	kopējais fosfors	<b>Pb</b>	svins



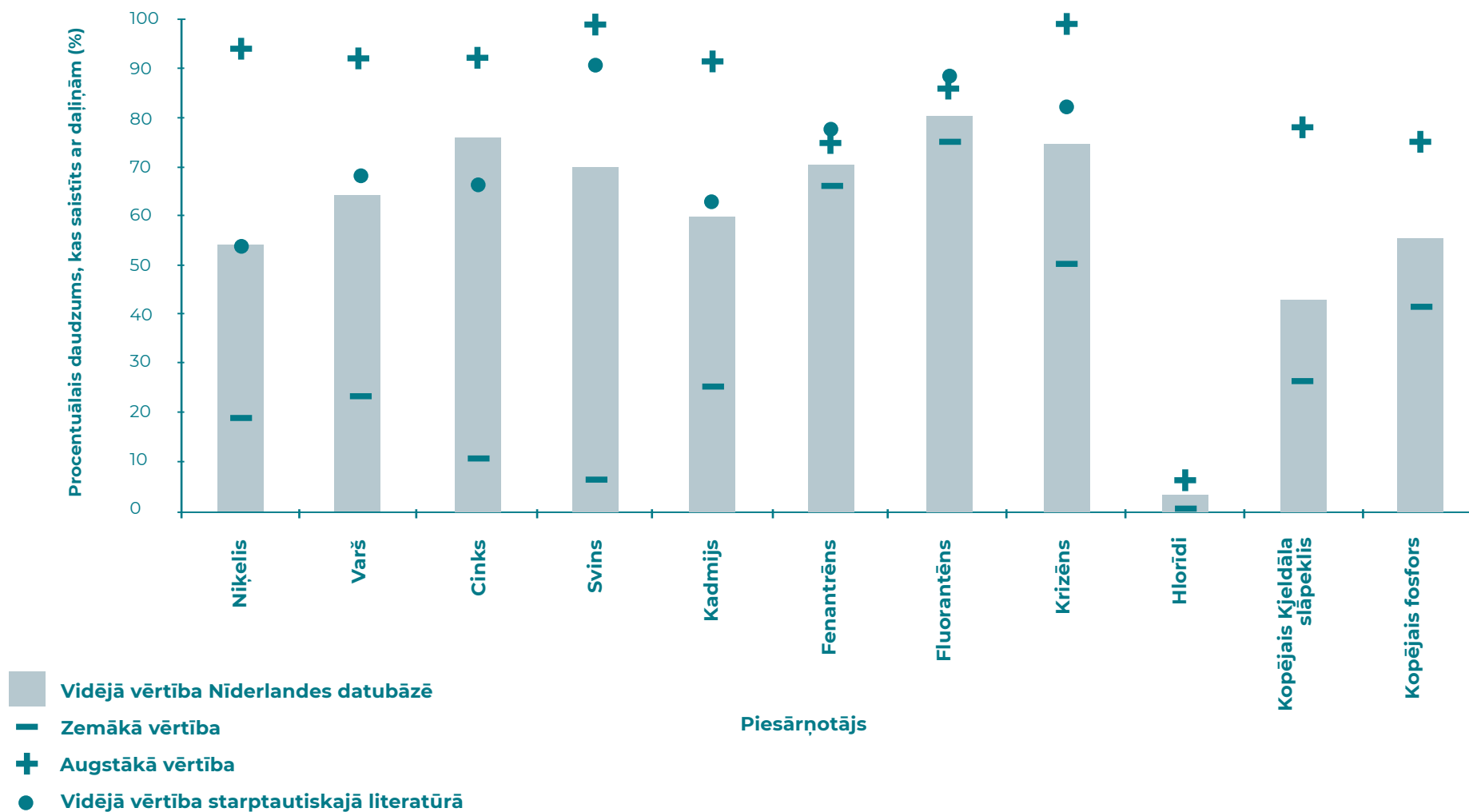
Nokrišņu virszemes notece pārnēs būtisku piesārņojuma daļu neatkarīgi no zonējuma veida. Piesārņojuma apjomi būtiski variē dažādās vietās, līdz ar to nav iespējams noteikt vienotas vērtības dažādām apbūves kategorijām. Attēls 2 parāda Langeveld, Liefting un Boogaard (2012) veikto apkopojumu ar piesārņojuma vērtībām, kas ir apkopotas dažādu autoru darbos. No šī apkopojuma var redzēt, ka piesārņojuma daudzumu nav iespējams vispārināt (piem., KSV vērtības visās salīdzinātajās vietās ir ievērojami augstākas kā Nīderlandē, savukārt St. Quirin izceļas ar krietni augstākām vērtībām kā citur visos piesārņotāju daudzumos).

Lai varētu piemeklēt efektīvāko virszemes noteces attīrīšanas risinājumu, būtisks faktors ir suspendēto vielu daļiņu izmērs. Kā piemēru var minēt tādu ILŪA risinājumu kā ievalkas, kurās daļiņas, kas mazākas par  $15\mu\text{m}$ , pārsvarā sistēmā neakumulējas un izplūst no tās (Bäckström, 2003). Nīderlandes lietus notekūdeņu pētījumā (F. Boogaard u.c., 2014) daļiņu lieluma sadalījums atšķiras dažādās lietusūdens kanalizācijas vietās. Daļiņu izmēri svārstās no apm.  $2 - 400\mu\text{m}$ . Pusi no masas veido daļiņas, kas mazākas par  $90\mu\text{m}$ . Autori apkopoja arī dažu citu pētījumu datus, kas uzrādīja variējošus daļiņu izmēru sadalījumus no aptuveni  $1 - 100$  līdz  $100 - 10\,000\mu\text{m}$ .

Neskatoties uz to, ka daļa piesārņotāju saistās ar suspendētajām vielām (Attēls 3), būtiska piesārņojuma daļa (apm.  $25 - 45\%$  dažādiem smagajiem metāliem) paliek izšķīdušā veidā (F. Boogaard u.c., 2014). Līdz ar to nav pietiekami paredzēt tikai suspendēto vielu noņemšanas risinājumus, piem., veicot lietus kanalizācijas plūsmas attīrīšanu nosēdakās. Ir nepieciešams paredzēt risinājumus specifiski piesārņojuma izšķīdušās frakcijas noņemšanai.

### 3. attēls.

Ar daļiņām saistītā piesārņojuma procentuālais daudzums Nīderlandes nokrišņu notekūdeņos (pielāgots no F. Boogaard u.c., 2014<sup>2</sup>)



<sup>2</sup>Boogaard, F. u.c. (2014) "Stormwater Quality Characteristics in (Dutch) Urban Areas and Performance of Settlement Basins", Challenges, 5, lpp. 112-122. doi: 10.3390/challe5010112.

## NORMATĪVAIS REGULĒJUMS

---

Eiropas Savienībā dabas ūdens kvalitātes aizsardzību regulē ES ūdens struktūrdirektīva 2000/60/EK, Vides kvalitātes standartu ūdens resursu politikas jomā direktīva 2008/105/EK, Peldvietu ūdens kvalitātes pārvaldības direktīva 2006/7/EK un Gruntsūdeņu aizsardzības pret piesārņojumu un pasliktināšanos direktīva 2006/118/EK (SIA "Grupa93", 2017).

Latvijā piesārņojuma izplatību regulē LR Saeimas izdots likums "Par piesārņojumu", saskaņā ar kuru ir izdoti MK not. Nr.34 "Noteikumi par piesārņojošo vielu emisiju ūdenī", MK not. Nr.118 "Noteikumi par virszemes un pazemes ūdeņu kvalitāti", MK not. Nr.362 "Noteikumi par notekūdeņu dūņu un to komposta izmantošanu, monitoringu un kontroli" un MK not. Nr.804 "Noteikumi par augsnes un grunts kvalitātes normatīviem". Pieļaujamās piesārņojošo vielu koncentrācijas specifiski nokrišņu notekūdeņos normatīvajos aktos nav izdalītas, bet tām ir jābūt tādām, lai limitētu piesārņojuma pieaugumu. Dažas pilsētas ir noteikušas piesārņotāju robežvērtības savos saistošajos noteikumos (piem., Rīgas domes saistošie noteikumi Nr.147 "Rīgas pilsētas hidrogrāfiskā tīkla lietošanas un uzturēšanas noteikumi").

## DZĪVOJAMĀ APBŪVE

---

Dzīvojamās apbūves zonās piesārņojuma veids galvenokārt būs atkarīgs no ēkās izmantotajiem celtniecības materiāliem, piemējas dārza darbos izmantotajām mēslošanas (piem., viengimeņu māju teritorijās) un kaitēkļu apkarošanas vielām, mājdzīvnieku un ielas dzīvnieku klātesamības, kā arī atmosfēras radītiem nosēdumiem (skat. Attēls 1). Nokrišņu notekūdens kvalitātes rādījumus ir iespējams atrast vairākās datubāzēs. Šajā apkopojumā atrodamās vērtības ir ņemtas no Zviedrijas nokrišņu notekūdens datubāzē StormTac pieejamās informācijas. Šajā datubāzē ir atrodamas vērtības no dažādām valstīm, tā tiek periodiski papildināta, kā arī tajā atrodami daži statistiskās analīzes apkopojuma dati. Tabula 1 apkopo dažādu piesārņojošo vielu daudzumus dzīvojamās zonās. Apzīmējums SN norāda standartnovirzi, kas ir atšķirība starp vidējo un min/max vērtību, n ir pieejamo datu skaits.

## 1. tabula.

Piesārņojuma daudzums dzīvojamās zonās (pielāgots no StormTac Database, 2020)

Kīmiskie elementi																		
elem.	Sb	Pb	Pb, izšķ.	Cu	Cu, izšķ.	Zn	Zn, izšķ.	Cd	Cd, izšķ.	Cr	Cr, izšķ.	Ni	Ni, izšķ.	Hg	Ag	Fe	As	Se
mērv.	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
n	5	76	7	83	10	84	11	39	5	45	7	34	5	9	15	6	40	8
vid. vērt.	20.62	30.90	33.04	23.19	21.98	114.29	100.10	1.43	1.37	7.28	4.14	7.80	3.83	9.63	11.51	2.07	7.68	3.63
SN	16.54	38.26	35.22	27.54	32.92	164.26	100.76	1.50	0.60	6.28	4.45	5.33	3.27	26.65	29.44	1.24	20.77	3.54

elem.	Barības vielas						FIO	Naftas produkti	Organiskās vielas			Daļiņas		Sāls
	P	P, izšķ.	N	NH4	TKN	NO3+ NO2-N	E.coli		ĶSP	BSP	TOC	SV	kop. izšķ. vielas	Cl
mērv.	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	KVV/100 ml	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
n	77	49	20	41	64	57	8	44	65	66	4	76	59	10
vid. vērt.	0.41	0.20	2.19	0.56	2.26	0.76	6.74 x 10 <sup>3</sup>	12.59	78.90	13.41	10.61	115.23	102.69	18.08
SN	0.23	0.10	0.87	0.42	2.37	0.42	9.20 x 10 <sup>3</sup>	31.54	77.49	8.39	3.94	127.72	75.33	21.14

dati. Tabula 1 apkopo dažādu piesārņojošo vielu daudzumus dzīvojamās zonās. Apzīmējums SN norāda standartnovirzi, kas ir atšķirība starp vidējo un min/max vērtību, n ir pieejamo datu skaits.

Dzīvojamā apbūve ir ļoti daudzveidīga, līdz ar to raksturīgākais piesārņojums katra tipa apbūves veidā atšķirsies. Tas ir atkarīgs, piem., no konkrētajā laika posmā celtniecībā izmantotiem būvmateriāliem (piem., vara jumta materiāli u.c.), ēkas veida (piem., viengimeņu mājas, kam blakus iekārtots dārzs vai daudzstāvu dzīvojamā ēka), atrašanās vietas (piem., pilsētas centra apbūve vai nomale) u.c. faktoriem. Tabula 2 parāda piesārņojuma daudzumu atšķirības dažādās dzīvojamās apbūves teritorijās. Šo mērījumu ietvaros, daudzstāvu

dzīvojamā apbūvē ir ievērojami augstākas svina, vara un dzelzs koncentrācijas, ja salīdzina ar citiem dzīvojamās apbūves veidiem, kas varētu būt saistīts ar lielāku autotransporta daudzumu šajos rajonos vai vēsturiski konkrētu rajonu celtniecībā izmantotiem materiāliem. Mazdārziņu zonā ir sastopams lielāks slāpekļa daudzums, kas varētu nākt no mēslošanas vai no augu sadalīšanās procesiem. Brīvdienu māju apvidū ir manāms nedaudz lielāks fosfora un organikas daudzums. Centra apbūvei ir analizēti vairāk elementi, līdz ar to tos ar pārējiem apbūves veidiem nevar salīdzināt. Ir būtiski ņemt vērā, ka šie dati reprezentē izteikti mazu konkrēta apbūves veida daļu (šajā gadījumā 2 – 43 mērījumi / gadījumi (n)).

2. tabula.

Piesārņojuma daudzums dzīvojamu zonu dažādos apbūves veidos (pielāgots no StormTac Database, 2020); n.d. – nav dati

Apbūves veids	Ķīmiskie elementi																		
	elem.	Sb	Pb	Pb, izšķ.	Cu	Cu, izšķ.	Zn	Zn, izšķ.	Cd	Cd, izšķ.	Cr	Cr, izšķ.	Ni	Ni, izšķ.	Hg	Ag	Fe	As	Se
	mērv.	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l
Rindu māju apbūve	n	n.d.	5	n.d.	6	n.d.	5	n.d.	5	n.d.	4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	vid. vērt.	n.d.	18.20	n.d.	33.35	n.d.	98.00	n.d.	0.54	n.d.	6.90	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	SN	n.d.	18.73	n.d.	22.48	n.d.	55.06	n.d.	0.26	n.d.	6.55	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Daudzstāvu dzīvojamā apbūve	n	n.d.	11	n.d.	12	n.d.	11	n.d.	5	n.d.	4	n.d.	5	n.d.	2	n.d.	2	n.d.	n.d.
	vid. vērt.	n.d.	90.45	n.d.	156.43	n.d.	200.27	n.d.	0.43	n.d.	9.65	n.d.	10.08	n.d.	0.10	n.d.	5.60	n.d.	n.d.
	SN	n.d.	81.59	n.d.	164.71	n.d.	126.66	n.d.	0.31	n.d.	5.16	n.d.	5.14	n.d.	0.10	n.d.	0.00	n.d.	n.d.
Centra apbūve	n	2	42	4	42	5	42	5	24	3	23	3	23	3	7	9	2	19	6
	vid. vērt.	84.50	48.42	13.46	31.23	11.33	220.11	118.62	2.56	1.23	8.73	2.19	10.52	5.40	0.35	4.06	1.08	3.98	3.58
	SN	15.50	51.72	13.13	30.34	2.81	147.18	53.32	4.09	1.26	5.82	0.64	8.34	3.31	0.29	6.04	0.52	2.61	2.74

2. tabula.

Piesārņojuma daudzums dzīvojamu zonu dažādos apbūves veidos (pielāgots no StormTac Database, 2020); n.d. – nav dati

Apbūves veids	elem.	Brīvības vielas						FIO	Naftas produkti	Organiskās vielas		Daļiņas		Sāls
		P	P, izšķ.	N	NH4	TKN	NO3+ NO2 - N	E.coli		ĶSP	BSP	SV	kop. izšķ. vielas	Cl
		mērv.	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		KVV / 100 ml	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Rīndu māju apbūve	n	6	n.d.	6	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4	4	4	6	n.d.	n.d.
	vid. vērt.	0.24	n.d.	1.66	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.48	66.25	11.88	58.02	n.d.	n.d.
	SN	0.16	n.d.	0.90	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.44	32.94	1.14	41.28	n.d.	n.d.
Daudzstāvu dzīvojamā apbūve	n	14	n.d.	14	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2	11	4	9	n.d.	n.d.
	vid. vērt.	0.32	n.d.	1.84	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2.15	88.64	11.88	191.12	n.d.	n.d.
	SN	0.08	n.d.	0.51	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.75	28.17	1.14	221.65	n.d.	n.d.
Brīvdienu māju apbūve	n	3	n.d.	2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	vid. vērt.	0.53	n.d.	3.35	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	115.02	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	SN	0.36	n.d.	1.65	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	14.99	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Mazdārziņu zona	n	2	n.d.	3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	vid. vērt.	0.16	n.d.	6.23	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	SN	0.01	n.d.	3.80	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Centra apbūve	n	38	22	17	20	30	27	6	n.d.	29	34	43	26	5
	vid. vērt.	0.34	166	2.66	0.99	2.24	0.89	$6.4 \times 10^3$	10.99	106.28	20.83	176.60	119.48	27.22
	SN	0.18	122	2.14	0.70	1.01	0.61	$4.75 \times 10^3$	14.01	70.71	17.62	228.24	81.61	21.31

## KOMERCAPBŪVE

---

Komercapbūves gadījumā piesārņojuma rašanās, līdzīgi kā dzīvojamās apbūves gadījumā, būs saistīta ar ēku celtniecības materiāliem un ceļu pretapledošanas apstrādi. Šī kategorija ir ļoti atkarīga no komercapbūves veida, piemēram, autostāvvietas var būt lielas teritorijas komercobjektos (skat. par stāvlaukumiem), līdz ar to būtisku piesārņojuma daļu var sagaidīt arī no transportlīdzekļu nodiluma (iebraucot un izbraucot no stāvlaukuma teritorijas).

## INDUSTRIĀLĀ APBŪVE

---

Industriālā apbūve ir ļoti daudzveidīga, raksturīgākie piesārņotāji un to apjoms būs atkarīgi no konkrētās rūpniecības specifikas un darbības veida, tas ir, rūpniecisko objektu nokrišņu notekūdens kvalitāte ievērojami atšķirsies dažādiem rūpniecības veidiem. Līdz ar to industriālajās teritorijās, kur atrodas, piem., ķīmiskā rūpniecība, metālapstrāde, mašīnbūve u.c. potenciāli bīstama piesārņojuma rašanās avoti, ir nepieciešams rūpīgi izvērtēt ILŪA risinājumu pielietojumu. Tabula 3 ataino dažu industriālo objektu nokrišņu notekūdens parametru vērtības. Jāņem vērā, ka šīs vērtības reprezentē relatīvi ļoti mazu rūpniecības objektu skaitu un specifiku. Lai izvairītos no piesārņojuma riskiem, šajās teritorijās ir vēlams nodalīt un savstarpēji izolēt dažādus teritorijas zonējumus, pieļaujot ILŪA risinājumu izmantošanu tikai jumtu un vispārējo stāvlaukumu noteces uztveršanai. Jebkura virszemes notece, kurai ir liels ķīmisko vielu vai cita nopietna ūdens piesārņojuma risks, jāsavāc atsevišķi un jāapstrādā kā rūpnieciskie notekūdeņi. (Water. People. Places. A guide for master planning sustainable drainage into developments, 2013) Ņemot vērā šos piesārņojuma riskus, lielu vērību būtu jāpievērš arī sniega apsaimniekošanai, nepieļaujot tajā uzkrātajam industriālajam piesārņojumam nokļūt vidē. Sniegā akumulējas salīdzinoši augsts suspendēto vielu daudzums (200 – 800 mg/l) (StormTac Database, 2020).



### 3. tabula.

Piesārņojuma daudzums industriālajās zonās (pielāgots no StormTac Database, 2020); n.d. – nav dati

Ķīmiskie elementi										
elem.	Pb	Pb, izšķ.	Cu	Cu, izšķ.	Zn	Zn, izšķ.	Cd	Cd, izšķ.	Cr	Cr, izšķ.
mērv.	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
<b>n</b>	49	6	49	6	50	6	30	4	30	3
<b>vid. vērt.</b>	52.95	17.90	45.24	12.15	300.40	232.48	3.27	1.26	38.40	3.79
<b>SN</b>	59.74	22.22	44.90	4.74	195.43	294.94	3.88	0.85	80.57	1.76

Ķīmiskie elementi										
elem.	Ni	Ni, izšķ.	Hg	Ag	Ag, izšķ.	As	Se	Sb	Cl	CN -
mērv.	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l
<b>n</b>	20	4	12	10	3	18	6	4	5	7
<b>vid. vērt.</b>	17.68	11.26	0.66	5.38	0.29	13.26	3.58	22.33	33.42	61.92
<b>SN</b>	14.12	9.93	1.28	6.57	0.07	35.03	1.69	18.21	43.79	76.72

elem.	Barības vielas					FIO	Naftas produkti	Organiskās vielas		PAH16	Daļiņas	
	P	N	NH4	NO3+NO2-N	P, izšķ.	E.coli		ĶSP	BSP		SV	kop. izšķ. v.
mērv.	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	KVV / 100 ml	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	mg/l	mg/l
<b>n</b>	46	15	20	30	22	5	25	39	38	14	45	33
<b>vid. vērt.</b>	0.44	2.10	0.81	0.85	0.13	2.20 x 10 <sup>3</sup>	10.26	92.88	19.22	0.48	185.49	145.87
<b>SN</b>	0.29	0.72	1.15	0.51	0.10	1.44 x 10 <sup>3</sup>	13.83	61.80	20.40	0.31	208.64	239.66

## PARKI UN ATPŪTAS TERITORIJAS

Parkos un atpūtas teritorijās galvenie sagaidāmie piesārņotāji ir izšķīdušās organiskās vielas (DOC), barības vielas (īpaši fosfors), suspendētās vielas un apkopes darbos izmantojamās vielas, piemēram pesticīdi u.c. (skat. Attēls 1). Tabula 4 parāda piesārņojuma daudzumus

dažās atpūtas teritorijās (parki un golfa laukumi), kā arī tajā ir ievietotas salīdzināšanai tādas dabiskās teritorijas kā meži un pļavas. Visās teritorijās ir ievērojami augstāks fosfora daudzums, ja salīdzina ar citām teritorijām.

### 4. tabula.

Piesārņojuma daudzums dažādos atpūtas teritoriju veidos (pielāgots no StormTac Database, 2020); n.d. – nav dati

Teritorijas veids	elem. mērv.	Barības vielas			Organika	Daļiņas	Metāli				
		P	N	Org. N	BSP	SV	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr
		µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Golfa laukumi	n	6	5	n.d.	n.d.	2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	vid. vērt.	565.00	3.34	n.d.	n.d.	147.50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	SN	412.87	2.16	n.d.	n.d.	92.50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Mežs	n	22	19	2	3	8	5	6	6	3	2
	vid. vērt.	46.95	0.99	0.45	3.10	34.44	15.26	6.28	40.83	0.43	4.65
	SN	64.35	0.81	0.17	0.70	18.17	13.97	3.52	54.65	0.37	0.75
Pļava	n	4	4	n.d.	4	4	4	4	4	2	2
	vid. vērt.	322.50	4.04	n.d.	12.00	186.88	54.75	15.25	42.50	0.54	4.20
	SN	290.03	3.54	n.d.	4.95	214.52	62.03	8.53	22.78	0.16	1.20
Parks	n	6	6	0	1	3	3	3	3	3	2
	vid. vērt.	123.33	4.04	n.d.	n.d.	186.88	6.33	7.00	40.00	0.36	4.20
	SN	91.95	3.54	n.d.	n.d.	214.52	4.50	4.97	32.66	0.29	1.20

## CITAS TERITORIJAS

### Ceļi

Piesārņojums no ceļiem rodas no transporta pārvietošanās (izplūdes gāzes, transportlīdzekļu un ceļu nodiluma, tuneļu un citu ceļa būvju mazgāšanas un pretapledošanas apstrādes (skat. Attēls 1). Neņemot vērā ceļu noslodzi, no tiem līdz ar nokrišņiem noskalojas vidēji  $3.5 \times 10^3$  KVV E.Coli,  $6.6 \times 10^4$  KVV kopējās koliformas, 121mg/l KSP, 10mg/l BSP, 23mg/l TOC. Starp smagajiem metāliem lielākie daudzumi sastopami cinkam (vid. 284µg/l), varam (vid. 54µg/l), svinam (vid. 40µg/l), hromam

(vid. 19µg/l) un niķelim (vid. 16µg/l). Izšķīdušā smago metālu daļa sastāda vidēji ap 49% niķelim, 29% varam, 28% cinkam, 17% hromam un 10% svinam. Naftas produkti atrodami vidēji ap 5mg/l, suspendētās daļiņas vidēji ap 115mg/l, hlorīdi jeb sāļi vidēji ap 32mg/l. (StormTac Database, 2020) Tabula 5 parāda piesārņojuma daudzumus atbilstoši ceļu noslodzei. Palielinoties ceļa noslodzei, palielinās arī piesārņojuma daudzums.

### 5. tabula.

Piesārņojuma daudzums atbilstoši ceļu noslodzei (apkopots no StormTac Database, 2020)

Transport līdz. dienā	Piesārņojums	Organiskās vielas			Barības vielas		Daļiņas	Pesticīdi	Ftalāti		
		KSP	BSP	TOC	P	N	SV	PCP	DEHP	DBP	DIDP
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
0 - 10 000	Min	40.00	3.76	8.12	0.03	1.01	8.10	0.63	0.50	0.05	1.50
	Vid.	101.80	4.23	16.47	0.12	1.67	73.38	0.63	0.50	0.05	1.50
	Max	195.90	5.00	21.00	0.16	2.01	224.70	0.63	0.50	0.05	1.50
	n	7	5	6	8	7	11	4	4	4	4
10 000 - 50 000	Min	22.20	5.14	21.51	0.07	0.54	6.80	0.63	0.50	0.05	1.50
	Vid.	98.34	6.05	24.91	0.18	2.06	92.75	0.63	0.50	0.05	1.50
	Max	200.00	7.20	29.16	0.28	5.70	305.00	0.63	0.50	0.05	1.50
	n	9	3	3	11	11	18	3	3	3	3
50 000 - 150 000	Min	151.48	10.63	41.90	0.27	1.96	59.83	0.63	0.50	0.05	1.50
	Vid.	201.05	16.12	62.29	0.40	3.64	214.12	0.63	0.50	0.05	1.50
	Max	255.35	24.35	92.88	0.70	8.80	485.00	0.63	0.50	0.05	1.50
	n	5	4	4	9	8	11	3	3	3	3

5. tabula.

Piesārņojuma daudzums atbilstoši ceļu noslodzei (apkopots no StormTac Database, 2020)

Transport līdz. dienā	Piesārņojums	Ķīmiskie elementi									
		Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	Hg	Na	Fe	Cl
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l
0 - 10 000	Min	2.00	7.00	8.50	0.07	4.00	5.00	0.08	18.00	0.22	6.70
	Vid.	10.56	21.16	107.88	0.32	7.03	5.82	0.09	18.00	0.99	15.87
	Max	50.00	40.00	346.00	0.80	8.25	6.41	0.10	18.00	1.40	36.50
	n	12	13	13	7	6	6	5	4	7	6
10 000 - 50 000	Min	3.00	8.33	41.45	0.30	6.00	7.16	0.09	18.00	0.11	6.80
	Vid.	22.96	45.60	184.12	0.73	14.32	8.18	0.76	18.00	1.24	108.20
	Max	86.60	130.00	550.00	2.50	27.00	9.58	8.85	18.00	2.75	108.20
	n	20	22	22	12	6	4	6	3	10	7
50 000 - 150 000	Min	39.57	30.00	210.00	0.40	10.00	9.10	0.08	18.00	2.36	13.00
	Vid.	74.54	116.48	758.20	0.89	35.41	23.47	0.18	18.00	3.31	13.00
	Max	123.00	247.00	1926.00	1.50	72.00	54.00	0.40	18.00	4.72	13.00
	n	10	11	11	8	9	9	7	3	4	3

5. tabula.

Piesārņojuma daudzums atbilstoši ceļu noslodzei (apkopots no StormTac Database, 2020)

Transport līdz. dienā	Piesārņojums	Organiskie piesārņotāji									
		-	4 - NP	PAO16	BaP	C12H8	C12H10	C13H10	C14H10	C16H10	C18H12
		Naftas produkti	4 - Nonyl-phenol	Pillicikl. arom. ogļūdeņr. - 16	Benzo(a) pyrene	Acena - phtylene	Acena - phtene	Fluorene	Phen - anthrene	Pyrene	Benzo(a) anthracene
		mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
0 - 10 000	Min	0.77	0.15	0.05	0.01	0.00	0.00	0.01	0.03	0.03	0.01
	Vid.	0.87	0.19	0.19	0.01	0.00	0.00	0.01	0.04	0.03	0.01
	Max	1.10	0.24	0.44	0.02	0.00	0.01	0.01	0.04	0.03	0.02
	n	5	4	6	4	4	4	4	4	4	4
10 000 - 50 000	Min	0.80	0.33	0.50	0.02	0.01	0.01	0.01	0.06	0.04	0.03
	Vid.	1.73	0.44	1.70	0.16	0.01	0.02	0.02	0.16	0.34	0.10
	Max	3.70	0.59	5.72	0.52	0.02	0.04	0.03	0.41	0.87	0.25
	n	7	3	9	7	5	5	5	7	5	7
50 000 - 150 000	Min	1.10	1.03	3.76	0.08	0.03	0.05	0.05	0.15	0.07	0.13
	Vid.	2.97	1.92	7.56	0.16	0.06	0.10	0.10	0.27	0.12	0.26
	Max	6.00	2.80	11.14	0.24	0.09	0.15	0.14	0.39	0.16	0.38
	n	9	3	4	5	3	3	3	3	3	3

## 5. tabula.

Piesārņojuma daudzums atbilstoši ceļu noslodzei (apkopots no StormTac Database, 2020)

Transport līdz. dienā	Piesārņojums	Organiskie piesārņotāji								
		C18H12	C22H14	C14H10	C16H10	C10H8	C20H12	C20H12	C22H12	C22H12
		Chrysene	Dibenz (ah) anthrasene	Anthracene	Fluoranthene	Naphthalene	Benzo(b) fluo- ranthene	Benzo(k) fluoranthene	Benzo (g, h, i) perylene	Indeno (1, 2, 3 - cd) pyrene
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
0 - 10 000	Min	0.02	0.00	0.00	0.04	0.11	0.03	0.01	0.01	0.01
	Vid.	0.03	0.00	0.01	0.04	0.11	0.04	0.01	0.02	0.02
	Max	0.06	0.01	0.01	0.05	0.11	0.05	0.01	0.02	0.02
	n	5	4	4	4	4	4	4	4	4
10 000 - 50 000	Min	0.05	0.02	0.02	0.07	0.11	0.06	0.01	0.02	0.02
	Vid.	0.19	0.04	0.04	0.38	0.13	0.26	0.11	0.17	0.15
	Max	0.54	0.07	0.05	1.20	0.15	0.67	0.30	0.56	0.51
	n	7	5	6	7	5	5	5	7	7
50 000 - 150 000	Min	0.16	0.09	0.09	0.22	0.15	0.17	0.05	0.11	0.08
	Vid.	0.31	0.18	0.18	0.41	0.18	0.30	0.10	0.20	0.15
	Max	0.45	0.27	0.27	0.59	0.22	0.44	0.14	0.30	0.22
	n	3	3	3	3	3	3	3	3	3

## Stāvlaukumi

Tabula 6 parāda piesārņojuma daudzumu stāvlaukumu noteces ūdenī. Tajā ir sastopamas salīdzinoši augstas fosfora vērtības, diezgan augsts suspendēto vielu un smago metālu daudzums. Naftas produktu daudzums izskatās mazāks par to, kas ir sastopams ceļu teritorijās (ceļi, dzīvojamā apbūve).

### 6. tabula.

Piesārņojuma daudzums stāvlaukumu virszemes noteces ūdenī (apkopots no StormTac Database, 2020)

elem.	Barības vielas		Naftas produkti	Organika	Daļiņas	Metāli					
	P	N		ĶSP	SV	Pb	Cu	Zn	Zn, izšķ.	Cd	Cr
mērv.	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
n	7	6	5	2	10	9	10	9	3	6	7
vid. vērt.	140.00	1325.00	746.00	110.00	139.65	72.95	42.35	185.39	224.67	0.95	11.86
SN	45.04	448.84	287.44	40.00	100.08	90.16	24.12	120.56	137.66	0.97	9.60

## Lidostas

Tabula 7 ataino piesārņojuma daudzumu lidostas teritorijās. Tajās var novērot salīdzinoši augstāku fosfora un ĶSP daudzumu.

**7. tabula.**  
Piesārņojuma daudzums lidostu teritorijās (apkopots no StormTac Database, 2020)

elem.	Barības vielas			Naftas produkti	Organika				Daļiņas
	P	N	NH <sub>4</sub> - N		ĶSP	BSP	TOC	DOC	SV
mērv.	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
n	12	13	4	3	4	4	7	4	2
vid. vērt.	122.58	2.01	0.12	0.39	225.35	124.30	43.90	67.08	75.00
SN	79.66	2.03	0.11	0.43	284.36	192.34	64.14	51.41	55.00

## Dzelzceļi

Tabula 8 ataino piesārņojuma daudzumu dzelzceļa uzbērumos. Arī dzelzceļu teritorijām ir raksturīgs smago metālu un naftas produktu piesārņojums.

**8. tabula.**  
Piesārņojuma daudzums dzelzceļa uzbērumos (apkopots no StormTac Database, 2020)

elem.	Barības vielas	Naftas produkti	Daļiņas	Metāli						Sāļi
	N		SV	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	Cl
mērv.	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
n	3	2	2	4	6	6	2	5	3	3
vid. vērt.	2.33	1.97	13.50	15.34	28.92	198.32	0.66	6.43	5.87	14.10
SN	1.01	1.73	1.50	16.61	21.43	337.65	0.64	5.76	2.30	4.83



## **2. NODAĻA**

DAŽĀDU ILGTSPĒJĪGO LIETUS NOTEKŪDEŅU ATTĪRĪŠANAS  
RISINĀJUMU POTENCIĀLS



Rūjienas kultūras nams. ALPS ainavu darbnīca.  
Foto Aigars Lapiņš

Piesārņojuma nonākšanu ūdenstilpnēs ir iespējams novērst, izmantojot ilgtspējīgas lietus ūdens apsaimniekošanas (turpmāk tekstā – ILŪA) pasākumu kopumu, kas ietver sevī:

- dažādus piesārņojuma ierobežošanas pasākumus: uzturēšanas darbus, kas iekļauj sevī akumulēto piesārņotāju savākšanu un sistēmu uzturēšanu darba kārtībā, piem., regulāru ceļu tīrīšanu, nepareizu kanalizācijas pieslēgumu novēršanu, atbilstošu materiālu pielietojumu, kas neizdala piesārņojumu, u.c.
- noteces ierobežošanu, uzkrāšanu un infiltrāciju (samazina piesārņojuma slodzi, pateicoties kvantitatīvai regulēšanai), īpaši no lielākā daudzuma mazo lietusgāžu, izmantojot vietējos infiltrācijas risinājumus – caurlaidīgos segumus, apzaļumojumu saturošās sistēmas – tādējādi samazinot piesārņojuma akumulēšanos ūdenstilpnē ilgākā laika periodā
- attīrīšanu (ūdens kvalitātes uzlabošana), kas sevī ietver vienu vai vairāku ILŪA risinājumu izmantošanu

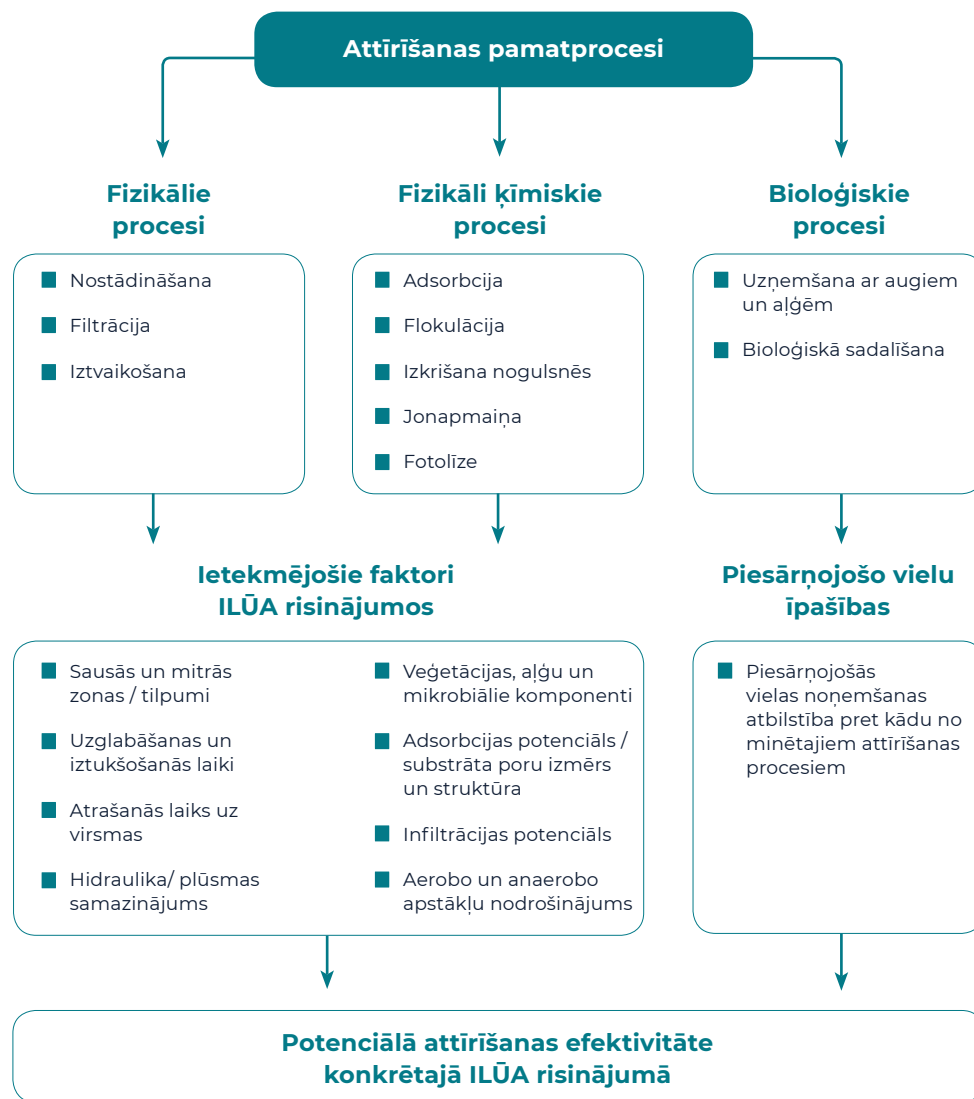
ILŪA risinājumi ir efektīvi ne tikai nodrošinot kvantitatīvu nokrišņu notekūdens apsaimniekošanu līdzvērtīgi konvencionālajām cauruļvadu sistēmām, bet arī uzlabojot tā kvalitātes rādītājus (Gonzalez-Meler u.c., 2013). Attīrīšanas efektivitāte vienā risinājuma veidā var būtiski variēt atkarībā no dažādiem faktoriem, piem., atrašanās vietas, augsnes sastāva, risinājuma izmēriem, veiktās apkopes regularitātes un kvalitātes u.c. Neskatoties uz to, ir iespējams salīdzināt vidējo ILŪA risinājumu attīrīšanas potenciālu, īpaši apkopojot datus no literatūras apskatiem, grāmatām un rokasgrāmatām, kas ir veikušas padziļinātu analīzi.

ILŪA risinājumu vadlīnijas (Woods Ballard u.c., 2015) nosaka, ka risinājumi jākonstruē tā, lai tie spētu noņemt lielāko daļu piesārņotāju no lietus ar 1 gada atkārtotās biežumu. Viens no veidiem, kā tiek nodrošināta lietusūdens noteces kvalitātes uzlabošana ir piesārņojuma slodzes samazināšana, samazinot noteces daudzumu jeb sekmējot tās infiltrāciju uzreiz atrašanās vietā (kvantitatīvā regulēšana). Vismaz 50% pīķa slodzes un noteces samazinājums ILŪA risinājumos jau ir spējīgs mazināt ietekmi uz lejteces ūdenstilpnes ekosistēmu (Gonzalez-Meler u.c., 2013).

Neskatoties uz to, ka ILŪA risinājumi ir spējīgi samazināt pīķa ūdens caurplūdumus, tas nav vienīgais faktors, kas būtisks kvalitātes uzlabošanai. Galvenie attīrīšanas mehānismi ir saistīti ar fizikāliem, fizikāli ķīmiskiem un bioloģiskiem procesiem (Attēls 4). Tie ietver sevī tādu procesu kā nostādināšanos jeb izgulsnēšanos, filtrāciju, iztvaikošanu, adsorbciju uz nosēdumiem vai augsni, fotolīzi, uzņemšanu ar augiem un bioloģisko degradāciju ar mikroorganismiem (Scholes, Revitt un Ellis, 2008).

#### 4. attēls

Pamatprocesi piesārņojuma samazināšanas potenciālam ILŪA infrastruktūrā (pielāgots no Scholes, Revitt, and Ellis 2008)<sup>3</sup>



<sup>3</sup>Scholes, L., Revitt, D. M. un Ellis, J. B. (2008) "A systematic approach for the comparative assessment of stormwater pollutant removal potentials", *Journal of Environmental Management*, 88(3), lpp. 467–478. doi: 10.1016/j.jenvman.2007.03.003.

Nostādināšana (izgulsnēšanās, sedimentācija) ir daļiņu izkrišana smaguma spēka ietekmē. Tas ir viens no būtiskākajiem attīrīšanas mehānismiem ILŪA sistēmās un svarīgs pirmais posms attīrīšanas risinājumu kaskādē. Sedimentācijas procesa veiksmīgai norisei ir nepieciešams nodrošināt lēnu plūsmas ātrumu. Filtrācija un biofiltrācija ietver sevī suspendēto vielu aizturi augsnē, īpaši izstrādātos filtra materiālos, ģeotekstilā vai augu segā un to saknēs. Izvaikošana ietver sevī piesārņotāja pārnesi no augsnēs vai ūdens atmosfērā, tās norisei ir būtiski tādi faktori kā temperatūra, spiediena izmaiņas, ķīmiskās reakcijas vai vairāku šo faktoru kopums. ILŪA risinājumos šis procesa veids visvairāk attiecas uz organiskajiem piesārņotājiem, kas iekļauj sevī naftas produktus un pesticīdus. Adsorbēšana ir piesārņotāja piesaistīšanās process pie nosēdumiem, augsnēs, materiāliem un citām daļiņām. Tai būtisks ir daļiņu vai materiālu virsmas laukums un poru struktūra, kā arī to ietekmē vides pH, sāls daudzums (ielu kaisīšana ziemā), materiāla piesātinājums ar adsorbējamām vielām (ar laiku materiāls ir jānomaina). Fotolīze ir uz virsmas akumulēto materiālu sadalīšanās UV radiācijas ietekmē. Bioloģiskā degradācija ir bioloģiskās attīrīšanas pamatprocess, kur mikroorganismi pārvērš organiskās vielas (piem., fekālo piesārņojumu, naftas produktus, eļļas) un barības vielas (slāpekli, fosforu) ogļskābē gāzē vai citās gāzveida vielās, atkarībā no skābekļa apstākļiem, un ūdenī, vai arī pārveido piesārņotāju formas (piem., pārvēršot amonija jonus nitrātos, kurus var uzņemt augi vai turpmāk bezskābekļa apstākļos tos pārveidojot slāpekļa gāzē) (Charlesworth un Booth, 2016). Bioloģiskā degradācija ir galvenais mehānisms gan oglekļa avota, gan neorganisko barības vielu sadalīšanā. Būtiska loma tajā ir dažādiem mikroorganismiem, kas sastāv no baktērijām, sēnēm, protozojiem (Charlesworth u.c., 2012) un, pietiekošas gaismas apstākļos, arī aļģēm (Singh, Paul un Jain,

2006). Liela nozīme ir arī bioplēvē vai suspensijā esošajiem daudzšūnu organismiem (Charlesworth un Booth, 2016). Fizikālie procesi ir dominējoši lietusgāzes laikā, savukārt bioloģiskajiem un ķīmiskajiem procesiem ir būtiska loma ilgtermiņā (Scholes, Revitt un Ellis, 2008).

Uzņemšana ar augiem ir būtisks barības vielas saturošā piesārņojuma (fosfors, slāpekļi) akumulācijas veids. Tas notiek caur augu saknēm, kā arī caur bioplēvi, kas izveidojas uz mitrumā esošām augu daļām, piem., mākslīgajos mitrājos. Šis process var sekmēt arī organiskā piesārņojuma biodegradāciju. (Woods Ballard u.c., 2015) ILŪA risinājumu atbilstība noteiktiem procesiem ir atainota Tabula 9.

## 9. tabula.

### Galvenie attīrīšanas procesi ILŪA risinājumos (apkopots un papildināts, izmantojot Charlesworth and Booth 2016)

Attīrīšanas process	ILŪA risinājumi	Būtiski faktori
Adsorbcija	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Filtrējošie grāvji</li> <li>■ Caurlaidīgie segumi,</li> <li>■ Mākslīgās mitraines ar zem-virsmas plūsmu,</li> <li>■ Infiltrācijas baseini,</li> <li>■ Infiltrācijas akas,</li> <li>■ Infiltrācijas grāvji</li> </ul>	Hidrauliskais ceļš jeb kontaklaiks Materiālu adsorbcijas efektivitāte
Izgulsnēšanās	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Ūdens uzkrāšanas dīķi,</li> <li>■ Paplašinātie ūdens aizturēšanas baseini,</li> <li>■ Infiltrācijas baseini</li> </ul>	Lamināra ūdens plūsma, plūsmas ātrums
Filtrācija	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Caurlaidīgie segumi,</li> <li>■ Filtrējošās joslas,</li> <li>■ Infiltrācijas risinājumi (lietusdārzi, ievalkas u.c.)</li> </ul>	Materiāla porainība, filtra materiāla daļiņu izmērs, kontaklaiks
Mikrobiālā sadalīšana	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mākslīgās mitraines ar zem-virsmas plūsmu,</li> <li>■ Infiltrācijas baseini,</li> <li>■ Caurlaidīgie segumi ar zemvirsmas slāņiem,</li> <li>■ Apzaļumotie risinājumi (mikroorganismi uz veģetācijas saknēm) u.c.</li> </ul>	Mikroorganismi (pielāgoti apkārtējai videi un mērķa piesārņotāja noņemšanai), oglekļa avots, neorganiskās barības vielas (fosfors, slāpekļis), skābekļa apstākļi (atkarībā no mikroorganismiem un sadalāmajām vielām), uzturēšanās laiks, piemērota ūdens vide
Uzņemšana ar augiem	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Risinājumi ar pastāvīgu sauszemes vai ūdens veģetāciju:</li> <li>■ Mākslīgās mitraines ar zem-virsmas plūsmu,</li> <li>■ Mitraines ar zem-virsmas plūsmu,</li> <li>■ Ievalkas,</li> <li>■ Filtrējošās joslas</li> </ul>	Dažādu augu specifiskā uzņemšanas efektivitāte (augšanas ātrums / klimats), augu (to sakņu) kontaktvirsmas ar piesārņojumu; paplašināti skat. 3.5 nodaļu
Iztvaikošana	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Visi ILŪA risinājumi, kuri ir virszemē, piem.: <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Paplašinātie ūdens aizturēšanas baseini,</li> <li>■ Ūdens aizturēšanas baseini,</li> <li>■ Ūdens uzkrāšanas dīķi,</li> <li>■ Infiltrācijas baseini,</li> <li>■ Mākslīgās mitraines ar zem-virsmas plūsmu</li> <li>■ Ievalkas</li> </ul> </li> </ul>	Virsmas laukums, atvērtas vietas ILŪA risinājumu struktūrā, uzturēšanās laiks, atmosfēras apstākļi (gaisa temperatūra, vējš, atmosfēras spiediena atšķirības, gaisa relatīvais mitrums)
Fotolīze	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Filtrējošās joslas,</li> <li>■ Ievalkas,</li> <li>■ Infiltrācijas baseini,</li> <li>■ Ūdens uzkrāšanas dīķi,</li> <li>■ Ūdens aizturēšanas baseini</li> </ul>	Virsmas laukums, tieša saules gaismas iedarbība, uzturēšanās laiks

Hidrauliskajiem rādītājiem, tādiem kā plūsmas ātrums un uzturēšanās laiks, ir būtiska ietekme uz konkrēta risinājuma attīrīšanas efektivitāti. Filtrācijas ātrums ietekmē SV izgulsnēšanos, filtrācijas procesus, uzturēšanās laiks ir būtisks rādītājs nostādīšanas un sorbcijas, kā arī citos procesos, kur notiek mijiedarbība ar augsni, filtrējošiem materiāliem, augiem, vai procesi atvērtās

ūdenstilpēs, piem., dīķos (Woods Ballard u.c., 2015). Lai sasniegtu vēlamu attīrīšanas efektivitāti, laba prakse ir veidot daudzpakāpju ILŪA risinājumu sistēmu, kur katra sastāvdaļa paredzēta kāda specifiska piesārņotāja vai to grupas noņemšanai (Fletcher u.c., 2002).

## PIESĀRŅOJUMA NOŅEMŠANA

Būtiskākie piesārņotāji nokrišņu notekūdeņos ir suspendētās vielas, smagie metāli, barības vielas (fosfors, slāpeklis), organiskais piesārņojums (fekālais piesārņojums, naftas produkti, eļļas), patogēnie mikroorganismi (skat. 1. nodaļu). Lietusūdeņu notecē būtiska dažādu vielu piesārņojuma daļa ir sasaistīta ar suspendētajām daļiņām (Ansaf, Mohamed un Lucke, 2013; Gonzalez-Meler u.c., 2013), līdz ar to dažādi ar suspendētajām vielām (SV) saistīti piesārņotāji (smagie metāli, fosfors) var izgulsnēties dabīgajās ūdenstilpnēs un izplatīt piesārņojumu lielos attālumos (Horowitz, 2009; Gonzalez-Meler u.c., 2013). Tādējādi, kopējo suspendēto vielu (KSV) samazinājums tieši ietekmēs arī šo piesārņotāju samazinājumu nokrišņu notekūdeņu notecē (Gonzalez-Meler u.c., 2013). Gonzalez-Meler u.c. (2013) pētījumā novērota būtiska KSV koncentrācijas samazinājuma korelācija ar tādu vielu koncentrācijas mazināšanos kā cinks, svins, varš, niķelis un mangāns. KSV samazinājumam savukārt netika novērota būtiska korelācija ar izšķīdušo piesārņojumu (slāpekli). Neskatoties uz to, KSV nevar izmantot kā rādītāju metālu samazinājumam, ja konkrētais risinājums ir paredzēts specifisku metālu noņemšanai, jo dažos ILŪA risinājumos iespējami izņēmumi konkrētu elementu noņemšanas efektivitātē, kas iespējams saistās ar sezonālītāti, aukstajā laikā mazinot dažu metālu saistīšanos ar SV (Gonzalez-Meler u.c., 2013).

**Suspendēto vielu** noņemšana palielinās, palielinoties hidrauliskajam uzturēšanās laikam, ko iespējams panākt, palielinot hidraulisko plūsmas ceļa garumu, piem., dīķos, mitrājos un citos baseinos. Filtrus un bioloģiskās filtrācijas sistēmās SV noņemšanu var uzlabot ar slāņa dziļuma paaugstināšanu, smalkāka filtra materiāla izvēli un vienmērīgu plūsmas sadali, infiltrācijas risinājumiem jāveic regulāra apkope, lai novērstu aizsērēšanos. Jāseko līdzi, lai novērstu apstākļus, kas var sekmēt nogulšņu resuspensiju. (Woods Ballard u.c., 2015) ILŪA risinājumi ir spējīgi būtiski samazināt SV daudzumu un vidēji var nodrošināt koncentrāciju izplūdē zem 30mg/l, vismazāko izplūdes koncentrāciju nodrošinot ar tādiem risinājumiem kā bioloģiskā filtrācija, dažādu filtra materiālu filtri, ūdens uzkrāšanas baseini un mitrāju baseini, kuros darbojas tādi mehānismi kā izgulsnēšanās un filtrācija (Clary u.c., 2017). Dažādu risinājumu spēja noņemt KSV ir atainota

Tabula 10, kur parādītas arī nevienmērības starp viena veida risinājumiem (standartnovirze) un slodzes samazinājums, kas iekļauj sevī arī ūdens kvantitatīvās regulēšanas parametru. Autori (Gonzalez-Meler u.c., 2013) ir iekļāvuši arī aprēķināto slodzes samazinājumu, kas iekļauj sevī aprēķinu tiem nokrišņu gadījumiem, kuros literatūras apkopojumā slodzes informācija nav dota.

## 10. tabula.

**KSV un KSV slodzes samazinājums dažādos ILŪA risinājumos. Adaptēts no Gonzalez-Meler et al. 2013. Ar \* apzīmēts autoru analīzes apkopojums no ILŪA risinājumu datubāzes (BMP database). KSV slodzes samazinājums ir izteikts kā procentuālā daļa, kas aprēķināta no KSV vidējā samazinājuma un noteces tilpuma samazinājuma; autoru aprēķinātais KSV slodzes samazinājums ir Gonzalez-Meler et al. 2013 veiktais aprēķins, papildus literatūras apskata datiem izmantojot arī aprēķinātās kvalitātes un noteces tilpuma samazinājuma vērtības**

ILŪA risinājums	KSV samaz., %	KSV samaz., SN	KSV slodzes samaz., %	KSV slodzes samaz., SN	Autoru aprēķinātais KSV slodzes samaz., %
Bioloģiskā infiltrācija (apzaļumotas sistēmas, kas veicina infiltrāciju un / vai piesārņojuma uzņemšanu augos, piem., bioloģiskās filtrācijas un infiltrācijas teritorijas, ievalkas, infiltrācijas lauki)	54* – 78	35	22	109	97
Mākslīgā mitraine	53* – 59	131	68	7	Nav datu
Ūdens aizture (dīķis)	59* – 64	29	-8	152	Nav datu
Filtrācija (sistēmas, kas aktīvi vai pasīvi nofiltrē piesārņojumu; pārsvarā izmantojami kopā ar citu ILŪA infrastruktūru)	38* – 59	36	94	3	59
Caurlaidīgais segums	66	32	Nav datu	Nav datu	89

### SAĪSINĀJUMI:

**KSV** kopējās suspendētās vielas

**SN** standartnovirze

**Metālu** noņemšanas efektivitāte ir atkarīga no specifiskā metāla un sateces baseina īpatnībām. Šim mērķim ir īpaši ieteicams kombinēt vairākus attīrīšanas risinājumus (attīrīšanas risinājumu kaskādes pieeja). Tā kā tie mēdz adsorbēties uz SV, parasti tiek apvienoti tādi procesi kā sedimentācija lielākām SV daļiņām, filtrācija mazāku daļiņu noņemšanai un sorbcija vai jonapmaiņa izšķīdušajai frakcijai (Woods Ballard u.c., 2015). Tabula 11 parāda metālu daudzums dažādu sistēmu

nogulsnēs. ILŪA risinājumi ir spējīgi būtiski samazināt tādu metālu daudzumu kā varš, svins un cinks, bet katrā risinājumā attīrīšanas efektivitāte mainās līdz ar ienākošo metālu koncentrāciju. Ja ienākošā koncentrācija ir ļoti zema, tad papildus to noņemšana var nebūt iespējama (Clary u.c., 2017). Metāli nav bioloģiski sadalāmi, bet tie var akumulēties bioplēvē adsorbējoties uz mikroorganismu virsmas vai akumulējoties to šūnās (Valls un de Lorenzo, 2002).



## 11. tabula.

Maksimālā metālu koncentrācija dažādu ILŪA risinājumu nogulsnēs (pielāgots no Susanne M. Charlesworth and Booth 2016; Andrews and Lampe 2005)

ILŪA risinājums	Maksimālā koncentrācija (mg/kg)						
	As	Cd	Cu	Pb	Zn	Ni	Hg
Bioloģiskās infiltrācijas joslas (ASV)	2.9	1.2	60	144	337	13	0.05
Naftas produktu/ ūdens atdalītājs (ASV)	5.0	1.7	106	189	702	27	0.07
Smilšu filtrs (ASV)	0.76	0.3	11	11	70	3.4	0.04
Smilšu filtrs (ASV)	1.2	0.3	8	25	61	3.1	0.04
Komposta filtrs (ASV)	1.7	5.0	120	110	670	18	0.5
Dīķis (Lielbritānija)	7.0	18	80	399	3718	175	2.0
Izlīdzinošais dīķis (Lielbritānija)	4.6	3.5	73	Nav datu	983	92	Nav datu
Izlīdzinošais dīķis (Lielbritānija)	0.1	0.1	2.3	Nav datu	16	1.3	Nav datu
Kanāls (Skotija)	98	21	451	8275	6671	114	2.7
Robežvērtības metālu koncentrācijām augsnē (86/278/EEC)	Nav datu	1 – 2	50 – 140	50 – 300	150 – 300	30 – 75	1 – 1.5

**Policikliskos aromātiskos ogļūdeņražus (PAO) un naftas produktus** varētu būt efektīvāk kontrolēt augsnes virsslānī, kas ir pakļauts periodiskiem sausuma un mitruma periodiem, piem., ūdens aizturēšanas baseina gultne, filtrējošās joslās, ievalkās, bioloģiskās filtrācijas sistēmās un infiltrācijas baseinos (Jefferies un Napier, 2008; Woods Ballard u.c., 2015). Organisko piesārņotāju bioloģiskā sadalīšanās var notikt gan zaļajos ILŪA (izlīdzinošajos dīķos, ievalkās, lietusedārzos

u.c.), gan pelēkajos ILŪA (īpaši caurlaidīgajos segumos) risinājumos (Charlesworth un Booth, 2016). Naftas ogļūdeņraži ir konstatēti ievērojamos apjomos ILŪA risinājumu nogulsnēs, kas padara to apkopi sarežģītāku (Durand u.c., 2004), tas arī norāda uz to, ka konkrētā risinājuma projektēšanā nav paredzēts pietiekošs laiks, lai notiktu bioloģiskā naftas produktu sadalīšanās (Charlesworth un Booth, 2016).

**Neorganiskās barības vielas (slāpeklis un fosfors)** daļiņveida formā noņem lielākā daļa ILŪA risinājumu, savukārt to noņemšana izšķīdušā formā ir sarežģītāka (līdzīgi kā metālu gadījumā) (Clary u.c., 2017). Slāpekļa samazināšanos galvenokārt sekmē sistēmas ar pastāvīgu ūdens apjomu, tādas kā bioloģiskās filtrācijas risinājumi un mitrāji. Arī regulāra ceļu tīrīšana un neatbilstošu sadzīves notekūdeņu savienojumu novēršana ir būtiski piesārņojuma mazināšanā (Woods Ballard u.c., 2015). Slāpekļa pārveidē būtiski ir skābekļa apstākļi: amonija joni ( $\text{NH}_4^+$ ) skābekļa vidē var tikt nitrificēti nitrātu jonos ( $\text{NO}_3^-$ ), arī organiskais slāpeklis var tikt pārveidots amonija jonos ar sekojošu nitrifikāciju. Slāpekļa akumulēšana ar adsorbciju vai tā uzņemšana ar augiem neveicina tā noņemšanu, bet tikai pārveidi un pagaidu akumulāciju, līdz ar to nav pietiekami aplūkot tikai ieejošās un izejošās slāpekļa koncentrācijas, tā kā tas nenosaka elementa noņemšanu sistēmā. Lai sekmētu tā noārdīšanu, ir nepieciešams notikt denitrifikācijas procesiem, kas slāpekli pārveidos gāzveida formā ( $\text{N}_2\text{O}$  vai  $\text{N}_2$ ). Denitrifikācijā notiek oksidēto slāpekļa savienojumu noārdīšanās un izdalās brīvs slāpeklis. Lai sekmētu šos procesus, ILŪA sistēmā ir nepieciešama gan aerobā, gan anaerobā zona. Hidrauliskais uzturēšanās laiks arī ir būtisks kritērijs šo procesu norisē. Lai noteiktu slāpekļa akumulācijas vai denitrifikācijas procesu norisi, var tikt pielietota izotopu noteikšanas metode (Charlesworth un Booth, 2016). Kā kopēja kategorija bioloģiskā filtrācija neuzrāda labus rezultātus (Clary u.c., 2017), kas varētu būt saistīts tieši ar slāpekļa pagaidu ieslēgšanu sistēmā (Payne u.c., 2014). Ir veikti pētījumi slāpekļa pārveidē augu kolonnās un konstatēts, ka lielākā daļa slāpekļa (89-99%) tiek akumulēta īpaši efektīvajos augos un tikai 0-3% tiek denitrificēti, 0-8% paliek porās esošajā ūdenī. Šis sadalījums nedaudz uzlabojās, kad tika izmantoti mazāk efektīvi augi, denitrificējot līdz 8% slāpekļa. Dažādu

risinājumu spēja noņemt kopējo slāpekli (Kop.N) ir atainota Tabula 12, kur parādītas arī nevienmērības starp viena veida risinājumiem (standartnovirze) un slodzes samazinājums, kas iekļauj sevī arī ūdens kvantitatīvās regulēšanas parametru. Autori (Gonzalez-Meler u.c., 2013) ir iekļāvuši arī izvērtēto slodzes samazinājumu, kas iekļauj sevī aprēķinu tiem nokrišņu gadījumiem, kuros literatūras apkopojumā slodzes informācija nav dota. Autoru veiktajā analīzē apkopoti arī laboratoriskie pētījumi, kas mēdza uzrādīt atšķirīgus rezultātus no reāli uzbūvētajām sistēmām. Piem., laboratoriskos pētījumos ar specifiskiem augiem izplūdē tika uzrādītas lielākas KS vērtības nekā ieplūdē, savukārt reālajā sistēmā ar šiem augiem tika novērots KS samazinājums.

Būtisku kopējā fosfora samazināšanas potenciālu ir uzrādījuši kombinētie (attīrīšanas risinājumu kaskāde) ILŪA risinājumi, ūdens aizturēšanas baseini, filtri, caurlaidīgie segumi, ūdens uzkrāšanas dīķi un mitrāju baseini. Bioloģiskās filtrācijas un infiltrācijas sistēmas, zālāja ievalkas un zālāja joslas mēdz izvadīt fosforu, līdz ar to, projektējot, uzstādot un apkopjot ILŪA risinājumus, īpaši būtu nepieciešams piedomāt pie bioloģisko filtru materiāliem, mēslošanas prakses un erozijas kontroles.

## 12. tabula.

Kop.N un Kop.N slodzes samazinājums dažādos ILŪA risinājumos. Adaptēts no (Gonzalez-Meler u.c., 2013). Ar \* apzīmēts autoru analīzes apkopojums no ILŪA risinājumu datubāzes (BMP database). Kop.N slodzes samazinājums ir izteikts kā procentuālā daļa, kas aprēķināta no Kop.N vidējā samazinājuma un noteces tilpuma samazinājuma; autoru aprēķinātais Kop.N slodzes samazinājums ir Gonzalez-Meler et al. 2013 veiktais aprēķins, papildus literatūras apskata datiem izmantojot arī aprēķinātās kvalitātes un noteces tilpuma samazinājuma vērtības

ILŪA risinājums	Kop.N samazinājums, %	Kop.N samaz., SN	Kop.N slodzes samaz., %	Kop.N slodzes samaz., SN	Izvērtētais Kop.N slodzes samaz., %
Bioloģiskā infiltrācija	17	73	43	26	88
Mākslīgā mitraīne	44 – 46*	39	Nav datu	Nav datu	Nav datu
Ūdens aizturēšana	-25*	Nav datu	21	93	Nav datu
Filtrācija	24*	Nav datu	40	3	6
Zaļie jumti	Nav datu	Nav datu	Nav datu	Nav datu	-39
Caurlaidīgais segums	58	40	Nav datu	Nav datu	86

### SAĪSINĀJUMI:

**Kop.N** kopējais slāpeklis

**SN** standartnovirze

**Baktēriju** aizture lielākajā daļā ILŪA risinājumu ir neefektīva un nespēj nodrošināt pietiekoši zemu fekālo indikatoru koncentrāciju izplūdē ūdensbaseinā, kas atbilstu peldvietu ūdens kvalitātei. Iespējams, ka izņēmums ir dīķi attiecībā uz E. Coli. Tomēr fekālo indikatororganismu

samazinājumu uzrāda bioloģiskie filtri, mitrāju baseini, ūdens uzkrāšanas baseini un filtri. Sausie paplašinātie ūdens aizturēšanas baseini uzrāda būtisku samazinājumu fekālajām koliformām (Clary u.c., 2017).

## Kopsavilkums

Tabula 13 ataino piesārņojuma procentuālo samazinājumu dažādos ILŪA risinājumos, taču jāņem vērā, ka tas var būt maldīgs rādītājs, jo īpaši, ja koncentrācijas ir zemas (Charlesworth un Booth, 2016). Tas saistīts ar to, ka dažus piesārņojumus, piemēram, metālus, mazās koncentrācijās ir grūti vēl vairāk samazināt, līdz ar to ir būtiski arī izvērtēt ieplūdes un izplūdes vērtības no konkrētā risinājuma. Pat ja samazinājums procentuāli ir mazāks, pati par sevi mazāka izplūdes

vērtība ir drošāka izplūdei ūdensobjektā (Ellis u.c., 2003). Ir ieteicams salīdzināt izplūdes vērtības arī ar spēkā esošiem normatīviem un pārlicināties, ka netiek pārsniegtas rekomendējamās normas. Jāņem vērā arī tas, ka daži piesārņojuma veidi akumulējas vidē, līdz ar to vienmēr jāmēģina nodrošināt pēc iespējas augstāku piesārņojuma noņemšanas efektivitāti. Vidējās piesārņojuma vērtības virszemes notecē un ILŪA risinājumu spēja samazināt koncentrācijas ir attēlota Tabula 14.

**13. tabula.**  
**Piesārņojuma noņemšanas efektivitāte dažādos ILŪA risinājumos (Charlesworth un Booth, 2016)**

ILŪA risinājums	Piesārņojuma noņemšanas efektivitāte, %				
	KSV	KS	Baktērijas	Ogļūdeņraži	Kopējie metāli
Filtrējošie grāvji	60 – 90	20 – 30	20 – 40	70 – 90	70 – 90
Infiltrācijas baseini	60 – 90	20 – 50	70 – 80	70 – 90	70 – 90
Ievalkas	10 – 40	10 – 35	30 – 60	60 – 75	70 – 90
Sedimentācijas lagūnas	50 – 85	10 – 20	45 – 80	60 – 90	60 – 90
Dīķi	60 – 80	20 – 40	20 – 40	Nav datu	40 – 55
Paplašinātie ūdens aizturēšanas baseini	30 – 60	5 – 20	10 – 35	30 – 50	20 – 50
Ūdens uzkrāšanas baseini	80 – 90	20 – 40	40 – 60	30 – 40	35 – 50
Mitrāji	70 – 95	30 – 50	75 – 95	50 – 85	40 – 75

14. tabula.

Vidējās piesārņojuma vērtības virszemes notecē un ILŪA risinājumu spēja samazināt koncentrācijas (pielāgots no Woods Ballard et al. 2015)

	KSV (mg/l)	Kopējais Cd (µg/l)	Kopējais Cu (µg/l)	Kopējais Zn (µg/l)	Kopējais Ni (µg/l)
Vidējās vērtības virszemes notecē (ieplūdes vērtības)	20 – 114	0.2 – 0.6	6 – 22	29 – 112	3 – 8
Filtrējošās joslas	10 – 35	0.1 – 0.3	5 – 12	11 – 53	2 – 4
Bioloģiskās filtrācijas sistēmas	5 – 20	0.04 – 0.1	4 – 10	5 – 29	3 – 8
Ievalkas	10 – 43	0.2 – 0.3	4 – 15	18 – 55	2 – 5
Ūdens aizturēšanas baseini	10 – 47	0.1 – 0.4	2 – 12	6 – 58	2 – 4
Ūdens uzkrāšanas baseini	4 – 28	0.1 – 0.4	3 – 7	11 – 39	2 – 6
Mitrāju baseini	4 – 21	0.1 – 0.4	2 – 6	11 – 33	Nav datu
Caurlaidīgie segumi	14 – 44	0.3 – 0.5	4 – 11	2 – 29	1 – 3
Mākslīgi veidotie biofiltri	2 – 5	Nav datu	Nav datu	38 – 221	Nav datu
Filtrācija	7 – 26	Nav datu	3 – 10	19 – 59	Nav datu
Hidrodinamiskie vai vorteksa tipa atdalītāji	10 – 71	Nav datu	6 – 17	34 – 107	Nav datu
Naftas produktu atdalītāji	16 – 87	Nav datu	6 – 18	60 – 121	Nav datu
Multiprocesi	2 – 8	Nav datu	3 – 16	9 – 27	Nav datu

## FITOTEHNOLOĢIJAS

Fitotehnoloģijas ir kompleksi risinājumi, kas izmanto augus un to vielmaiņas procesus augsnes, ūdens, gruntsūdens un nogulu attīrīšanai – degradēšanai, asimilēšanai, detoksikācijai no smagajiem metāliem, hidrokarbonātiem, pesticīdiem, polihlorētajiem bifiniliem u.c., (Susarla et al, 2002) kā arī pasargā augsni un gruntsūdenus no potenciālā nākotnes piesārņojuma (Kennen, Kirkwood, 2015).

Informācijas avotos bieži lietots fitoremediācijas termins, bet tas apraksta galvenokārt atsevišķus procesus – kādas augu grupas piesārņojuma degradāciju vai ekstrakciju teritorijā. Turpretī fitotehnoloģijas iekļauj ne tikai degradāciju vai ekstrakciju, bet arī citas tehnikas, metodes un procesus kā:

- Piesārņojuma stabilizācija augsnē vai auga sakņu sistēmā;
- Potenciālā piesārņojuma prevencijas pasākumu kompleksus;
- Ilgtspējīgus lietus ūdens risinājumus – t.sk. zaļos / zilos jumtus, bioie- Valkas, mitrzesmes, zaļās sienas, u.c.;
- Fitotehnoloģijas ir mūsdienīgas pilsētāinavas plānošanas un dizaina sastāvdaļa.

Fitotehnoloģijas ir balstītas uz ekoloģiskiem principiem un dabas procesos pamatotas sistēmas uzskata par neatņemamu cilvēku un visas sabiedrības mijiedarbības sastāvdaļu (Kennen, Kirkwood, 2015).

Fitotehnoloģijas mehānismi – to iespējas un ierobežojumi

(Brownfields to greenfield, 2011; Kennen, Kirkwood, 2015)

### Fitotehnoloģiju iespējas:

- Videi draudzīgs, dabisks, pasīvs, saules enerģijas vadītu in-situ metožu kopums piesārņojuma ietekmētu ainavu sanācijai un reģenerācijai.
- Iespējas attīrīt daudzveidīgu organisko un neorganisko piesārņojumu – augsnē, ūdenī un gruntsūdenī vietās kur ir zems vai vidēji augsts piesārņojuma līmenis.
- Gan tradicionālās metodes, gan fitotehnoloģijas iespējams kombinēt (hibrīdtehnoloģijas), lai atrastu vietai piemērotāko ekonomiski pamatotu ilgtspējīgas attīstības modeli. Ekonomiski izdevīgs process, jo tā izmaksas ir salīdzinoši mazākas ar tradicionālajām sanācijas metodēm.
- Augsts sabiedrības atbalsts – īpaši teritorijās, kas ir blakus dzīvojamiem rajoniem – jo fitotehnoloģijas ir dabisks process ar zemu enerģijas patēriņu, vizuāli un estētiski pievilcīgs.
- Tās var integrēt pilsētas ainavtelpas un zaļās struktūras tīklojumā, no pagaidu izmantošanas risinājumiem līdz pilsētas parkam.
- Potenciālā piesārņojuma novēršana – daļa no integrētiem pilsētas ainavas risinājumiem.
- Bioloģiskās daudzveidības paaugstināšana, jaunu dzīvotņu radīšana.
- Sabiedrības ekoloģiskās izglītības paaugstināšana – izglītība visus līmeņos (pamatskola, vidusskola, augstskola, informēšana u.c.) gan par piesārņojuma negatīvo ietekmi, gan par procesiem dabā un fitotehnoloģijām; eksperimentālo lauku izveide, zaļās klases u.c.

- Biomasas ražošana kā atjaunojams energoresurss.
- Klimata pārmaiņu ietekmes mazināšana – mikroklimate uzlabošana, metodes pielietošanai nav nepieciešami fosilie dabas resursi u.c.
- Pilotprojektiem paveras iespēja piesaistīt brīvprātīgos vides draugus, studentus un dārzkopības profesionālo skolu audzēkņus lauku darba veikšanai. Monitoringu veicot sadarbībā ar universitātēm.

#### **Fitotehnoloģiju ierobežojumi:**

- Izmantojamas nelielam vai vidēji augstam piesārņojumam.
  - Ne visu piesārņojumu var attīrīt izmantojot fitotehnoloģijas – pārāk augsts piesārņojuma līmenis, augsts augsnes blīvums, augsnes auglības trūkums.
  - Laikietilpīgi – augu attīstībai nepieciešami vismaz 5 gadi.
  - Efektivitāti būtiski ietekmē vietas klimatiskie apstākļi un piesārņojuma dziļums – augsnē un gruntsūdeņos – augu sakņu dziļums.
  - Dažkārt augu biomasu nevar izmantot enerģijas ražošanā un tajā koncentrēts paaugstināts piesārņojuma līmenis un tas jānogādā atkritumu izgāztuvē – kas ir dārgi un prasa lielus enerģijas resursus. Biodegradācijas produktiem nav zināms toksiskums – nav zināma to bīstamība dzīvniekiem, kas barojas ar augiem.
  - Procesā būtiska apsaimniekošana un akurāts monitorings – jāparedz tam līdzekļus un kvalificētu darba spēku ilgtermiņā.
- Process ir atkarīgs no augu augtspējas. Sadarbība ar kvalificētiem bioloģiem un bioķīmijas speciālistiem, kas veicot sistemātisku augu novērošanu un veicot to bioķīmiskās analīzes dažādās augu attīstības stadijās un sezonās noskaidrotu katrai vietai un tās piesārņojuma līmenim, avotam piemērotākos un efektīvākos mehānismus un augu izvēli.
  - Vietējās stādaudzētavās var nebūt pieejams nepieciešamais augu sortiments. Izvērtējot ekonomisko aspektu, vēlams izmantot vietējās dabā sastopamās augu sugas vai dārzbēgļus, kas gadsimtu gaitā pilnībā naturalizējušās un uzskatāmas par vietējām sugām.
  - Latvijā fitotehnoloģijas teritoriju attīrīšanā vēl nav izmantotas un mūsu speciālistiem nav atbilstošas pieredzes, augu izvēle būs ilgstošs un mainīgs process – pielāgojoties zinātnieku jaunākajiem atklājumiem par augu uzvedību attīrīšanas procesā mūsu klimatiskajos apstākļos un sadarbojoties arī ar citiem ekspertiem ārvalstīs, kur šī metode tiek praktizēta jau vairākus gadus.

### **Organiskā piesārņojuma mehānismi**

Šādus mehānismus fitotehnoloģiskajā sistēmā izmanto tikai organiskam piesārņojumam

**Fitodegradācija** (arī saukta fitotransformācija) – piesārņojošās vielas, vielmaiņas procesa rezultātā, tiek noārdītas auga saknēs, stumbrā vai lapās.

**Rhizodegradācija** (arī saukta fitostimulācija, rizosfēras biodegradācija vai augu veicināta bioremediācija / degradācija) – augšnes mikrobioloģiskās aktivitātes paaugstināšana, lai caur sakņu sistēmas un rhizosfēras aktivitāti degradētu (noārdītu) piesārņojumu.

Fitodegradācija un rhizodegradācija ir labākie no iespējamajiem scenārijiem, jo piesārņojums tiek pilnībā vai praktiski pilnībā degradēts un nav nepieciešama augu masas novākšana un utilizēšana.

### **Organiskā un neorganiskā piesārņojuma mehānismi**

Šādus mehānismus fitotehnoloģiskajā sistēmā izmanto gan organiskam, gan neorganiskam piesārņojumam

**Fitovolatilizācija** – piesārņojošās vielas tiek degradētas vai transformētas un pārveidotas mazāk piesārņojošās vielās, kuras transpirācijas procesā, tiek izdalītas.

**Fitometabolisms** - piesārņojošās vielas augi izmanto augšanas procesa nodrošināšanai, akumulē tās biomasā vai izmanto jaunas biomasas veidošanai. Parasti paaugstināts N,P,K.

**Fitoekstrācija** – piesārņojošās vielas (galvenokārt smagie metāli un radioaktīvās vielas) augs uzņem caur sakņu sistēmu un akumulē tās lielos daudzumos galvenokārt auga virszemes daļās. Bioloģisko

procesu rezultātā augos piesārņojošo vielu koncentrācija ir zemāka kā pirms tam augsnē (arī ūdenī, nogulumos). Biomasu tiek novākta un pārvēsta šķeldā - izmatota biodegvielas ražošanā – vai sadedzināta un deponēta atkritumu poligonā.

**Fitohidraulika** – Augi piesārņojumu uzņem caur ūdeni un gruntsūdeņiem. Liels augu daudzums ar spēcīgām hidrauliskām īpašībām var apstādināt piesārņojuma plūsmu. Paralēli augi izmanto fitodegradācijas vai fitovolatilizācijas mehānismu piesārņojuma likvidācijai.

**Fitostabilizācija** – Imobilizē piesārņojumu caur sakņu absorbciju un akumulāciju. Nodrošina stabilu rhizosfēru, kurā piesārņojums daļēji uzkrājas. Augs var izdalīt arī fitoķīmiskās vielas augsnē, kas sasaista piesārņojumu un padara to mazāk pieejamu.

**Rhizofiltrācija** – Līdzīgs process fitoekstrācijai. Ūdens (virsūdeņu) filtrācija caur sakņu masu un auga biomasu, kas absorbē, uzkrāj un nogulsnē piesārņojumu līdz ražas novākšanai. Biomasu tiek novākta un likvidēta.



## IEVALKAS

Ievalkas ir sekli, ar veģetāciju (tipiski, zālāju) apauguši kanāli ar lēzenām sānu nogāzēm, kas paredzēti virszemes noteces mazināšanai, novadīšanai un attīrīšanai. Tās tipiski izbūvē gar ceļiem, ietvēm, stāvlaukumiem un citām vietām, kur raksturīga izkliedēta virszemes notece. Pateicoties veģetācijai, notiek virszemes noteces plūsmas ātruma pazemināšana, veicinot tādas attīrīšanās procesus kā sedimentāciju, filtrāciju cauri sakņu zonai un augsnei, iztvaikošanu un samazinot noteces daudzumu ar infiltrāciju zemākos augsnes slāņos. Ievalkās papildus var iebūvēt kontroldambjus jeb aizsprostus (īpaši būtiski vietām ar lielāku virsmas kritumu), kas palielina virszemes noteces uzturēšanās laiku, sekmējot efektīvāku infiltrāciju un līdz ar to arī piesārņojošo vielu aizturi (Woods Ballard u.c., 2015).

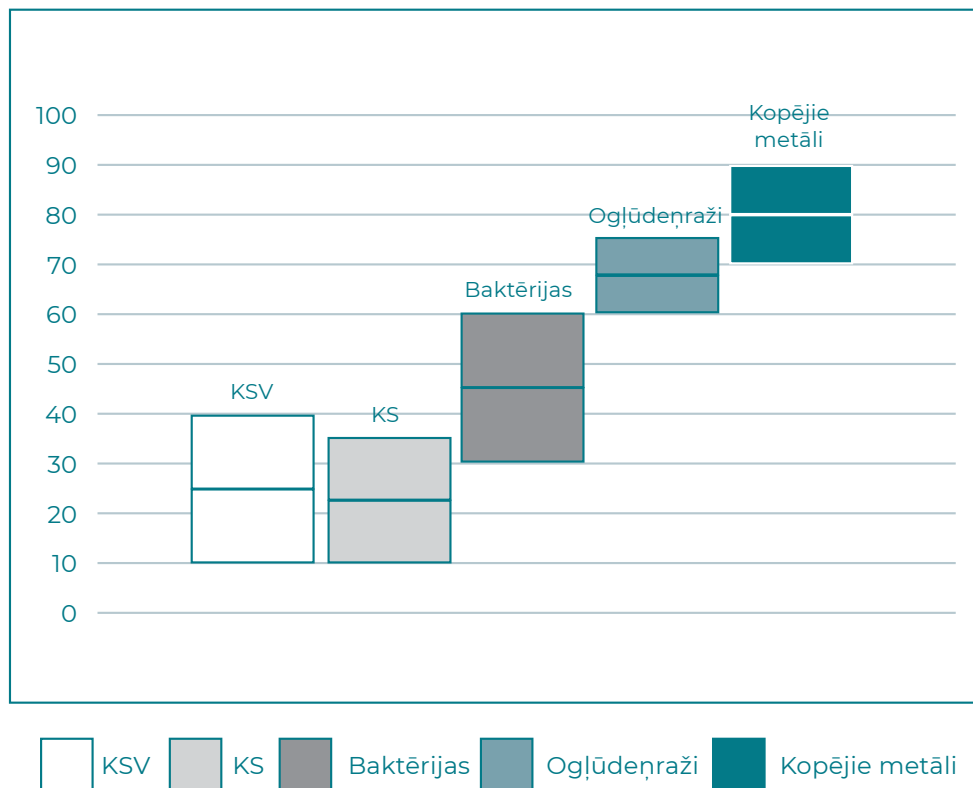
### Ievalkas var iedalīt četrās kategorijās (Fardel u.c., 2019):

- Standarta ievalkas, kas ietver sevī ar dabisko zālāju apaugušas ieplakas vai kanālus;
- Sausās ievalkas, kas ietver sevī ievalkas ar smilšainām, viegli caurlaidīgām augsnēm vai mākslīgi veidotiem slāņiem, kas veicina ātru ūdens infiltrāciju, kā arī piesārņojuma noņemšanu filtrācijas procesā caur attiecīgiem slāņiem;
- Mitrās ievalkas, kur ir raksturīgi mitrājiem līdzīgi apstākļi, piem., ūdens uzkrāšanās, un ūdenī augoša veģetācija;
- Bioievalkas, kas sevī apvieno veģetācijas slāni, mākslīgi veidotos filtrējošos slāņus zem tā, kā arī tie var iekļaut drenāžas cauruļvadu vai necaurlaidīgu ģeotekstila slāni, kas novērstu jebkāda piesārņojuma infiltrēšanos gruntsūdeņos.

Piesārņojošo vielu daudzuma samazinājums ievalkās galvenokārt notiek ierobežojot piesārņotāju plūsmu uz ūdensobjektiem, noteci infiltrējot (Woods Ballard u.c., 2015), jo filtrācijas ceļā noņemtie piesārņotāji nav neatgriezeniski piesaistīti veģetācijai vai augsnes virskārtai un var izskaloties (Bäckström, Viklander un Malmqvist, 2006; Ansaf, Mohamed un Lucke, 2013).

Ievalkas ir spējīgas nodrošināt 10 – 90% samazinājumu dažādiem piesārņotājiem (Attēls 5), nodrošinot izplūdē līdz 10 – 43 mg/l KSV, 0.2 – 0.3 µg/l kopējam kadmijam, 4 – 15 µg/l kopējam varam, 18 – 55 µg/l kopējam cinkam un 2 – 5 µg/l kopējam niķelī (Tabula 14). Lai palielinātu organisko vielu (piem., naftas produktu) degradāciju un veicinātu bioloģisko sadalīšanos, ir iespējams izmantot palīgmateriālus, piem., papildināt ievalkas ar kompostu (Charlesworth u.c., 2012). Sadalot nogulsnes dažāda izmēra frakcijās, citā pētījumā konstatēts, ka ievalkas uzrāda 50 – 80% samazinājumu rupjākām daļiņām, 30 – 50% vidējām daļiņām un 10 – 50% smalkajiem sedimentiem, 10 – 50% brīvi peldošām eļļām un taukiem, 10 – 50% barības vielu un 10 – 50% metālu samazinājumu (Department of Planning and Local Government, 2010). Ievalkas efektīvi spēj noņemt daļiņas, kas ir lielākas par 57 µm, tās arī akumulējas ievalkas sākumposmā, savukārt mazākas daļiņas akumulējas arī turpmākajā distancē (Deletic, 2005), un daļiņas <15 µm ievalkās neakumulējas un pamet sistēmu līdz ar nokrišņu notekūdens plūsmu (Bäckström, 2003).

**5. attēls.**  
**Piesārņojuma procentuālais samazinājums ievalkās**  
**(min un max vidējās vērtības), pielāgots no Tabula 13**



Ja ievalkas ir paredzētas galvenokārt kā transporta kanāli un tām ir noteikta nokrišņu notekūdens ieplūdes vieta, tad piesārņojums, piem., smagie metāli, galvenokārt akumulēsies pirmajos 10 metros no ieplūdes. Šajā posmā kopējās suspendētās vielas tiek samazinātas par 50 – 75%. Turpmākajā posmā, neatkarīgi no ievalkas garuma, var panākt papildus 20% samazinājumu (Ansaf, Mohamed un Lucke, 2013).

Līdz ar suspendētajām vielām šajā posmā pastiprināti samazinās arī pie šīm daļiņām piesaistīto smago metālu koncentrācija, kas ilgākā laika posmā var akumulēties lielākās koncentrācijās – piem., Nīderlandē veiktajā pētījumā vienā no piecām ievalkām 10 gadu ekspluatācijas laikā tika novērots lielāks par pieļaujamo smago metālu koncentrācijas daudzumu augsnes virsējā slānī ietekes apvidū (Venvik un Boogaard, 2019), līdz ar to ir būtiski veikt atbilstošus apkopes darbus.

Pētījumos ar sintētisku lietusūdeni ievalkas neparādīja būtisku barības vielu (slāpekļa, fosfora) samazinājumu, dažos gadījumos šo vielu daudzums izplūdē palielinājās, kas izskaidrots ar de-sorbciju no augsnes (Ansaf, Mohamed un Lucke, 2013).

Dažās vietās, kur augsne satur lielu daļu organikas, ir nepieciešams mazināt oksidējošo vielu (piem., skābekļa un sulfātu) ietekmi uz to, tādējādi saglabājot vēsturisko augsnes kultūrslāni un mazinot zemes iegrimšanu – šāds gadījums apskatīts Briģenes apgabalā Bergenā pilsētā, Norvēģijā (gada vidējā temperatūra +7.6°C), kur 20 m garas ievalkas tika izmantotas, lai novadītu un attīrītu nokrišņu notekūdeni no jumtiem un ceļiem (F. C. Boogaard u.c., 2014). Ievalkas ir spējīgas nodrošināt anaerobus apstākļus tikai tad, ja tās ir bieži pakļautas ūdens iedarbībai (augšne ir zem ūdens); reducēšanās - oksidēšanās potenciāls ir atkarīgs ne tikai no ūdens līmeņa, bet arī no augsnes īpašībām (Vorenhout un Boogaard, 2016). Līdz ar to, vietās, kam raksturīga kūdraina augsne, varētu būt īpaši būtiski ierīkot mitrumu uzturošus risinājumus, lai novērstu zemes iegrimšanu un SEG emisijas.

Piesārņojuma samazināšanas kontekstā, ievalkas var uztvert kā vietu, kas samazina piesārņojuma pīķa slodzi, infiltrējot daļu no noteces, un izlīdzina to pirms nonākšanas turpmākajos attīrīšanas posmos.

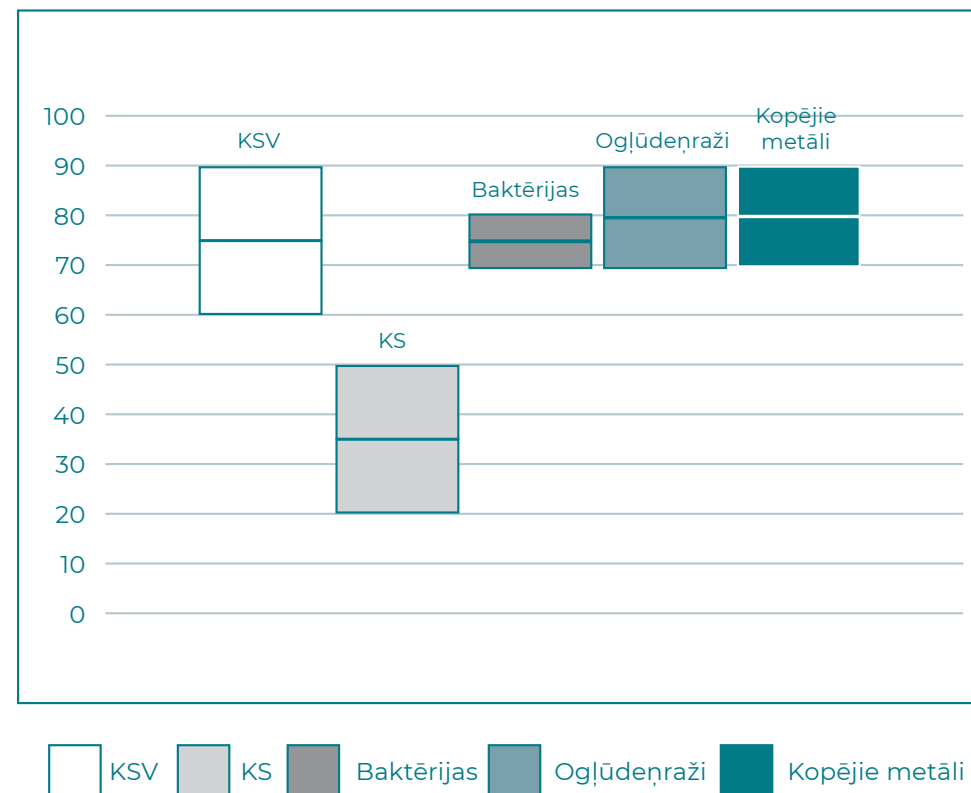
## INFILTRĀCIJAS SISTĒMAS

Infiltrācijas sistēmas ietver sevī tādas konstrukcijas kā infiltrācijas akas, infiltrācijas tranšejas, infiltrācijas laukus un infiltrācijas baseinus (Woods Ballard u.c., 2015). Infiltrācijas akas ir izrakumi, kas ir piepildīti ar tukšumu veidojošu materiālu, kas ļauj īslaicīgi uzglabāt ūdeni, pirms tas iesūcas zemē. Infiltrācijas tranšejas ir lineāras infiltrācijas akas. Atšķirība ir tāda, ka tās var būt ne tik dziļas un vienmērīgāk sadalīt infiltrējamo ūdeni, mazinot sliktākas caurlaidības grunts ietekmi. Tranšeju konstrukcijā var arī tikt iekļauta perforēta caurule, kas sekmēs ūdens sadali sistēmā. Infiltrācijas baseini ir seklī padziļinājumi ar līdzenu virsmu, kas uzglabā noteces ūdeni, veicinot piesārņojuma izgulsnēšanos un filtrāciju pirms ūdens infiltrējas zemē. Infiltrācijas lauki ir lielas un seklas sistēmas, kuras parasti izbūvē, izmantojot caurlaidīgus materiālus vai ekstensīvās infiltrācijas pazemes vienības. Piemēram, šīs konstrukcijas izmanto zem caurlaidīgā seguma stāvlaukumos vai zem bērnu un sporta laukumiem (Woods Ballard u.c., 2015).

Infiltrācijas baseini spējīgi noņemt 60 – 90% KSV, 20 – 50% kopējo slāpekli, 70 – 80% baktērijas, 70 – 90% ogļūdeņražus un 70 – 90% kopējos metālus (Attēls 6).

Lai izvairītos no gruntsūdens piesārņojuma riska, infiltrācijas risinājumam jābūt pēc iespējas seklākam, lai nodrošinātu pēc iespējas garāku infiltrācijas ceļu piesārņojuma noņemšanai caur augsni, īpaši vietās ar augstu gruntsūdens līmeni. Papildus daļiņveida piesārņojuma un ogļūdeņražu aizturei infiltrācijas risinājumos var izmantot ģeotekstila slāņus (Woods Ballard u.c., 2015). Liela nozīme infiltrācijas sistēmās ir substrātam, piem., smalko daļiņu procentuālajam saturam (Gonzalez-Meler u.c., 2013), tā kā smalkākas daļiņas ir spējīgas aizturēt smalkāku piesārņojumu. Bet jāņem vērā, ka tādējādi augsne var arī aizsērēt un nespēt nodrošināt pietiekošu infiltrācijas ātrumu.

**6. attēls.**  
**Piesārņojuma procentuālais samazinājums infiltrācijas baseinos (min un max vidējās vērtības), pielāgots no Tabula 13.**



## FILTRĒJOŠĀS JOSLAS

---

Filtrējošās joslas ir lēzenas ar zālāju vai citu blīvu veģetāciju apaugušas joslas, kas paredzētas dažādu ūdens necaur laidīgo virsmu noteces attīrīšanai. Tajās darbojas tādi procesi kā izgulsnēšanās un filtrācija un atsevišķos gadījumos arī infiltrācija, līdz ar to ir būtiski nodrošināt, ka ūdens plūst ar pietiekoši mazu ātrumu. Filtrējošās joslas pārsvarā izmanto kā priekšattīrīšanas posmu pirms ūdens ieplūšanas ievalkās vai bioloģiskās filtrācijas sistēmās un tranšējās, bet tās iespējams izmantot arī kā patstāvīgas sistēmas, ja ūdens plūsmas ceļš ir pietiekoši garš. Tās ir spējīgas noņemt SV ar saistītajiem smagajiem metāliem un organisko piesārņojumu. Daļa no izšķīdušās piesārņojuma frakcijas tiek aizturēta ar infiltrāciju caur augsni. Īpaši efektīvas šīs sistēmas ir mazām lietusgāzēm (Woods Ballard u.c., 2015).

Filtrējošo joslu efektivitāte ir tieši atkarīga no to garuma. Sistēmas, kas garākas par 2.5 – 3 m ir atbilstošas virszemes noteces priekšattīrīšanai pirms ieplūdes turpmākos attīrīšanas kaskādes elementos (Woods Ballard u.c., 2015), savukārt filtrējošās joslas, kas garākas par 5m, ir spējīgas nodrošināt efektīvu piesārņojuma samazinājumu (Barrett, Lantin un Austrheim-Smith, 2004). Filtrējošās joslas uzrāda spēju samazināt KSV līdz 10 – 35 mg/l, kopējo kadmiju līdz 0.1 – 0.2 µg/l, kopējo varu līdz 5 – 12 µg/l, kopējo cinku līdz 11 – 53 µg/l un kopēji niķeli līdz 2 – 4 µg/l (Tabula 14). Būtiski faktori ir arī kritums un veģetācijas blīvums. Ja kritums ir <10% un veģetācija pārklāj >80%, tad piesārņojuma koncentrācija sasniedz konstantu vērtību posmā, kas īsāks par 5 m, līdz ar to lielāki garumi ir nepieciešami tikai lielāku kritumu gadījumā (Caltrans, 2003).

Filtrējošām joslām ir minimālas infiltrācijas iespējas, līdz ar to tās ir drošas pret piesārņojošo vielu iekļūšanu gruntsūdeņos, īpaši, ja augsnes sastāvā ir pietiekošs organisko vielu un māla saturs. Īpaši jutīgās gruntsūdens zonās ir iespējams papildināt konstrukciju ar ūdensnecaur laidīgu ģeomembrānu. Tā kā piesārņojuma noņemšanas efektivitāte ir ļoti variējoša, filtrējošās joslas iesaka izmantot tikai kā priekšattīrīšanas posmu ILŪA risinājumu kaskādē (Woods Ballard u.c., 2015).

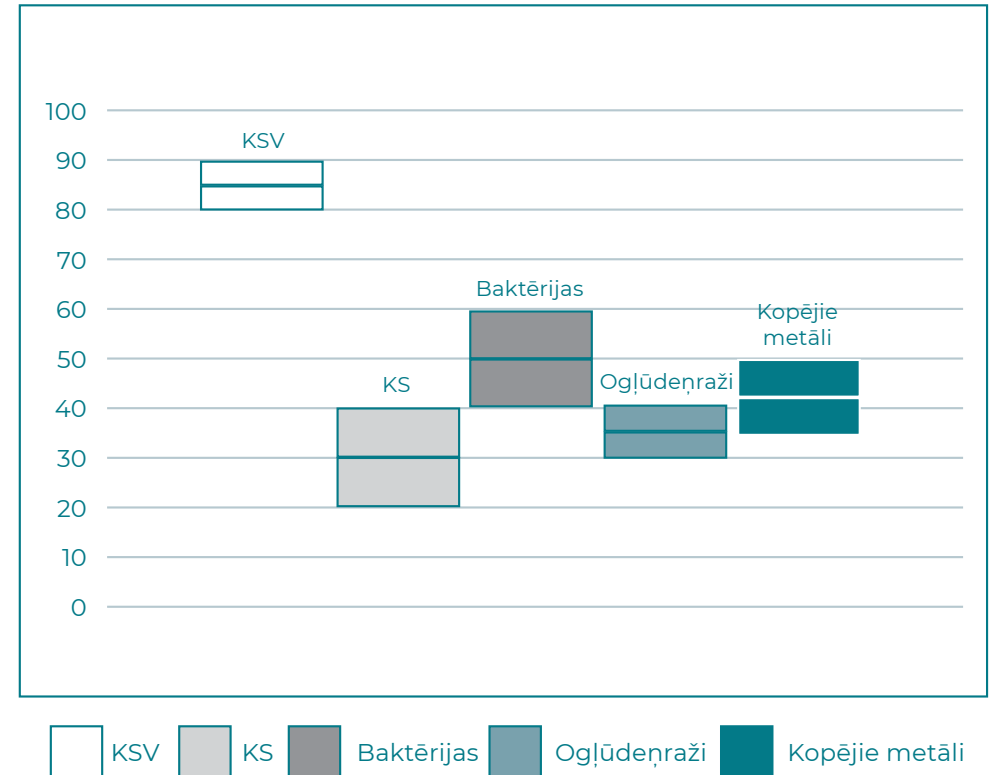
# DĪĶI

Dīķis ir pastāvīgi ūdeni saturošs baseins, kas nodrošina virszemes noteces samazināšanu ar akumulāciju, kā arī tās attīrīšanu, primāri ar nostādināšanu. Dīķos notiek arī barības vielu uzņemšana caur bioloģisko aktivitāti. Zem ūdens un piekrastē augošie augi nodrošina vidi bioplēves attīstībai, kura turpmāk pārstrādā barības vielas (Woods Ballard u.c., 2015). Dīķi var uztvert kā reaktoru, kur ieplūde no virszemes noteces pēc lietussgāzes sekmē ūdens daļēju nomaiņu tajā. Līdz ar to attīrīšanas procesi pārsvarā notiks starp lietussgāzēm.

Tā kā galvenais attīrīšanas mehānisms dīķos ir nostādināšana, tie galvenokārt samazina suspendētās vielas (Attēls 7). Tie var nodrošināt izplūdē samazinājumu līdz 4 – 28 mg / l suspendētajām vielām, 0.1 – 0.4 µg / l kadmijam, 3 – 7 µg / l varam, 11 – 39 µg / l cinkam un 2 – 6 µg / l niķelim (Tabula 14).

Būtiskākais parametrs piesārņojuma noņemšanai ir dīķa pastāvīgais ūdens tilpums. Pastāvīgais tilpums, kas ir lielāks par divkārtšo vidējo gada nokrišņu daudzumu vairs būtiski neuzlabo piesārņojuma noņemšanas efektivitāti (Barrett u.c., 2012; Woods Ballard u.c., 2015). Virszemes noteces attīrīšanas efektivitāte uzlabojas, ja tiek nodrošināti vairāki attīrīšanas ceļi, izmantojot vairākus dīķus, garākus plūsmas ceļus, palielinot virsmas laukuma un tilpuma attiecību un izmantojot sarežģītāku mikrotopogrāfiju. Seklākos dīķos skābeklis piekļūst dīķa gultnei, veicinot eļļas produktu bioloģisko sadalīšanu. Ja dīķis ir ļoti sekls, pastāv aļģu ziedēšanas un pārmērīgas bioloģiskās aktivitātes riski, kā arī ūdens izžūšanas riski bezlietus periodos, līdz ar to jānodrošina minimāli 0.6 – 1 m dīķa dziļums. Lai samazinātu sedimentu resuspensijas risku, jāparedz lielāks dziļums dīķa izplūdes daļā (Woods Ballard u.c., 2015).

**7. attēls.**  
Piesārņojuma procentuālais samazinājums ūdens uzkrāšanas baseinos (min un max vidējās vērtības), pielāgots no Tabula 13



## MĀKSLĪGĀS MITRAINES

Mitraines jeb mitrāji (arī mitrzemes), līdzīgi dīķiem, ir pastāvīgi ūdeni saturoši dažādu dziļumu baseini, kuros būtiska loma ir arī virszemes un zemūdens veģetācijai. Tiem raksturīga purvainā vide, un tajos tiek sekmēti tādi attīrīšanas procesi kā adsorbīcija uz veģetācijas virsmas, sedimentu aizture un resuspensijas risku mazināšana ar blīvu veģetāciju un aerobā piesārņojošo vielu sadalīšanās (Woods Ballard u.c., 2015). Mākslīgās mitraines var iedalīt trīs pamatveidos pēc ūdens plūsmas tajās: zem-virsmas plūsmas, ūdens virszemes plūsmas un “peldošās” attīrošās mitraines (Stefanakis, 2018).

Gonzalez-Meler u.c., (2013) veiktajā analizē mākslīgās mitraines uzrādīja vislielāko variāciju suspendēto vielu piesārņojuma noņemšanas efektivitātē (SN = 131, skat. Tabula 10). Autori to pamato ar iespējamu izgulsnēto daļiņu resuspensiju un izplūdi lielu lietusgāžu laikā. Mitrāji vidēji var nodrošināt 30 – 95% dažāda piesārņojuma samazinājumu (Attēls 8), samazinot piesārņojuma koncentrāciju līdz 4 – 21 mg / l suspendētajām vielām, 0.1 – 0.4 µg / l kadmijam, 2 – 6 µg / l varam un 11 – 33 µg / l cinkam (Tabula 14). “Peldošās” attīrošās mitraines var nodrošināt KSV samazinājumu līdz 81%, KS samazinājumu līdz 34% un kopējā fosfora samazinājumu līdz 19% (Sukias, Yates un Tanner, 2011; Walker un Lucke, 2016).

Iekštelpu jeb kontrolētas vides mākslīgās mitraines spēj sasniegt augstāku piesārņojuma efektivitāti, piem., salīdzinot benzola un ķīmiskā skābekļa patēriņa (KSP) samazinājumu (ārtelpu sistēmas attiecīgi uzrādīja vidējo samazinājumu par 85% un 70%, iekštelpu – par 95% un 80%) (Eke un Scholz, 2008; Charlesworth un Booth, 2016). Tomēr galvenais mehānisms benzola samazinājumam bija iztvaikošana. Veicot pētījumu ar eksperimentālu mākslīgās mitraines sistēmu, Rakoczy u.c. (2011) konstatēja, ka sistēmā bija pietiekoši aerobi apstākļi, lai notiktu amonija oksidācija, izveidojot nitrātus. Benzola noņemšanas efektivitāte sasniedza >98% pēc 231 dienas un lielākā daļa no tā (vismaz 85%) tika sadalīta bioloģiskos procesos.

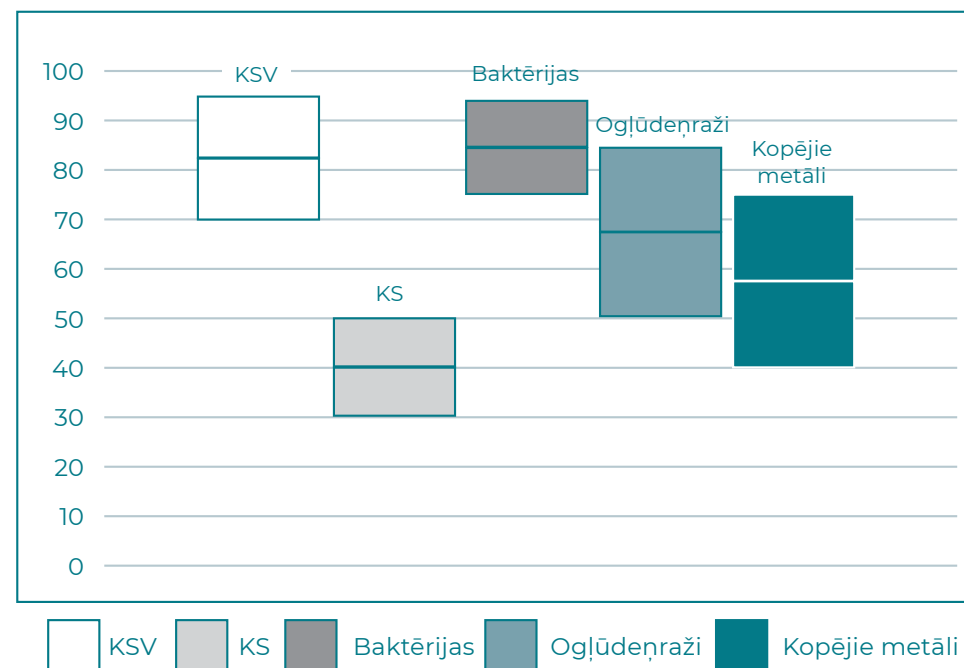
Mērogojot mitraines, labāka attīrīšanas efektivitāte ir tām, kurām mitraines – sateces baseina laukumu attiecība ir zem 0.01 (Gonzalez-Meler u.c., 2013).

Būtiskāki par mitrāja izmēriem ir tādi parametri kā ūdens uzturēšanās laiks un hidrauliskā slodze (Carleton u.c., 2001); kā dimensionēšanas kritēriju iesaka izmantot arī ūdens tilpumu attiecību (izplūdes ūdens tilpums pret akumulēto tilpumu). Mitrāji, kuriem ir liels ūdens uzkrāšanas tilpums attiecībā pret sateces baseinu ir efektīvāki, piem., slāpekļa noņemšanā (Line u.c., 2008; Gonzalez-Meler u.c., 2013).

Nemot vērā, ka nogulšņu izņemšana no mitrājiem ir pārsvarā sarežģīts un dārgs process, pirms mitrājiem nepieciešams nodrošināt priekšattīrīšanas risinājumus lielāku izmēru sedimentu noņemšanai. Mitrājus ieteicams paredzēt kā vienu no pēdējiem attīrīšanas kaskādes posmiem pirms virszemes notekūdens izlaides ūdenstilpnē (Woods Ballard u.c., 2015).

### 8. attēls.

**Piesārņojuma procentuālais samazinājums mitrājos (min un max vidējās vērtības), pielāgots no Tabula 13**



## BIOĻĢISKĀS FILTRĀCIJAS SISTĒMAS (BIOFILTRI), LIETUSDĀRZI

Bioloģiskās filtrācijas sistēmas, tai skaitā lietusdārzi, paaugstinātie apstādījumi, bioloģiskās filtrācijas kokaugu ielejas, bioievalkas, anaerobās bioloģiskās filtrācijas sistēmas, ir sekli aļnaviski padziļinājumi, kas samazina noteces ātrumu un veicina tās attīrīšanu caur speciāli veidotiem augsnes slāņiem un veģetāciju. Risinājumiem paredzot anaerobās zonas, ir iespējams panākt arī barības vielu piesārņojuma samazinājumu notecē (Woods Ballard u.c., 2015).

Lietusdārzi ir nelielas sistēmas, kas paredzētas vienai teritorijai (piem., jumtam vai ceļam). Drenāžas slāni parasti sastāda neliela biezuma (200 – 500 mm) ar smilti un komposta materiālu papildināts vietējas augsnes slānis vai specifiskas augsnes maisījums. Ūdens dziļums parasti nav lielāks par 150mm (Woods Ballard u.c., 2015), un infiltrācijas efektivitāte ir atkarīga no atrašanās vietas, konstrukcijas un apkopes (Venvik un Boogaard, 2020).

Veģetācija, kas aug biofiltrā, uzlabo piesārņojuma noņemšanu, aizturot un absorbējot to, kā arī tā pasargā filtru no erozijas un aizsērēšanās, pateicoties augošai sakņu sistēmai. Filtrācija pārsvarā darbojas labāk, ja veģetācija ir blīvāka un augi ir garāki (Woods Ballard u.c., 2015). Augi, kuriem ir dziļāka sakņu sistēma, ir potenciāli labvēlīgāka vide naftas produktus degradējošo mikroorganismu dzīves vides nodrošināšanai (LeFevre, Hozalski un Novak, 2012; Charlesworth un Booth, 2016).

Bioloģiskās filtrācijas sistēmas ir efektīvas nosēdumu (īpaši smalkās frakcijas) un ar tiem saistīto piesārņotāju (metālu, barības vielu, eļļu un tauku) aizturei virszemes augsnes slānī un veģetācijā, infiltrējot ūdeni caur zemākiem filtrējošiem slāņiem un augu saknēm un sorbcijai uz filtrējošo materiālu virsmas. Korekti izprojektēti un uzturēti risinājumi ir spējīgi samazināt piesārņojumu arī tad, ja tajos nonāk sniega kušanas ūdens, kas satur pretapledojumam kaisīto sāli

(Muthanna u.c., 2007; Woods Ballard u.c., 2015). Bioloģiskā filtrācija var nodrošināt virszemes noteces piesārņojuma attīrīšanu līdz 5 – 20 mg / l KSV, 0.04 – 0.1 µg / l kopējam kadmijam, 4 – 10 µg / l kopējam varam, 5 – 29 µg / l kopējam cinkam un 3 – 8 µg / l kopējam niķelim (Tabula 14). Saskaņā ar FAWB (2008), šajās sistēmās ir iespējams panākt KSV samazinājumu lielāku par 90%, kopējā fosfora samazinājumu lielāku par 80%, slāpekļa samazinājumu vidēji ap 50%, metālu (cinka, svina un kadmija) samazinājumu lielāku par 90% un vara samazinājumu līdz 60%.



## ZAĻIE JUMTI

---

Zaļie jumti ir definēti kā ar veģetāciju apaugušas zonas uz ēku jumtiem, kas iedalās ekstensīvajos (ar seklu augsnes kārtu un vienkāršu veģetāciju) un intensīvajos (ar biezāku augsnes kārtu un daudzveidīgu veģetāciju, līdz ar to tie var būt saukti arī par jumtu dārziem) risinājumos. Tā kā tie pārsvarā uzņem tikai atmosfēras nokrišņus, piesārņojuma apjomam, kas tajos nonāk, vajadzētu būt mazākam kā citos ILŪA risinājumos. Ir būtiski ar zaļo jumtu konstrukciju neienest papildus piesārņojumu, kā tas ir, piem., no vara jumtu materiāliem (Woods Ballard u.c., 2015). Zaļie jumti ir efektīvi pīķa noteces slodzes mazināšanā, kā arī tie var samazināt noteces apjomu par vidēji 60%. Intensīvie jumti šajā ziņā ir efektīvāki (Gonzalez-Meler u.c., 2013).

Lietusūdens un atmosfēras piesārņojums tiek attīrīts caur vairāku procesu kopumu pārsvarā augsnes un augu sakņu zonā (Woods Ballard u.c., 2015). Bet liela ietekme uz veģetāciju ir sezonai, līdz ar to barības vielu, piem., slāpekļa samazinājums var būt ne tik efektīvs (Gonzalez-Meler u.c., 2013).



## CAURLAIDĪGS SEGUMS (BRUĢIS, CAURLAIDĪGAIS ASFALTS, CAURLAIDĪGAIS BETONS)

Caurlaidīgais segums (īpašs porains segums vai standarta segums, kas izvietots ar atstatumiem) iekļauj sevī uzgājēju ietvēm vai autotransporta ceļiem izmantojamu segumu, kas ļauj lietusei infiltrēties zemseguma slāņos, kur tas tiek īslaicīgi akumulēts pirms infiltrācijas vai novadīšanas uz turpmākiem attīrīšanas posmiem vai izlaidi. Līdz ar zemseguma augsnes un filtrējošiem slāņiem, caurlaidīgais segums nodrošina filtrācijas, adsorbcijas, biodegradācijas un izgulsnēšanās procesus (Woods Ballard u.c., 2015).

Caurlaidīgajos segumos notiek daļiņveida piesārņojuma un pie tā adsorbēto daļiņu aizture savienojuma vietu starp bruģakmeņiem virsējā slānī līdz 30 mm dziļumam, organisko piesārņotāju, piem., petrolejas un dīzeļa, bioloģiskā degradācija seguma konstrukcijā, piesārņojuma adsorbcija uz konstrukcijas virsmām (to ietekmē tekstūra, konstrukciju struktūra, mitruma daudzums), cieto daļiņu izgulsnēšanās un uzkrāšanās (Woods Ballard u.c., 2015). Uz seguma virsmas esošais piesārņojums var būt pakļauts fotodegradācijai un iztvaikošanai, kas var arī izmainīt piesārņojuma ķīmiskās īpašības (Charlesworth un Booth, 2016).

Gonzalez-Meler u.c., (2013) noteica KSV piesārņojuma slodzes samazinājumu caurlaidīgajam segumam 89% apmērā un kopējam slāpeklim 86% apmērā. Tie ir spējīgi samazināt suspendētas vielas līdz 14 – 44 mg / l, kadmiju līdz 0.3 – 0.5 µg / l, varu līdz 4 – 11 µg / l, cinku līdz 2 – 29 µg / l un niķeli līdz 1 – 3 µg / l (Tabula 14). Attīrīšanas efektivitātes uzlabošanai ir iespējams izmantot uzlabotas augsnes, ko var panākt, pievienojot augsnei nelielu daudzumu substrāta vai materiālus ar augstāku adsorbcijas kapacitāti, piem., skaidas, granulēto aktivēto ogli u.c. (Woods Ballard u.c., 2015).

Būtiska nozīme caurlaidīgo segumu darbībā ir izšķīdušo ogļūdeņražu bioloģiskā degradācija. Efektīvai naftas produktu bioloģiskai degradācijai, ir nepieciešams nodrošināt pietiekošu naftas produktu aizturi lielām piesārņojuma slodzēm un nodrošināt pietiekošu daudzumu barības vielu (fosfors, slāpeklis). Bioloģiskā degradācija parasti notiek zemseguma slāņos laikā starp lietusei. Šādā veidā piesārņojumu nav iespējams noņemt, ja notiek nekontrolēta naftas produktu noplūde (Charlesworth un Booth, 2016). Lai novērstu sistēmas pārslodzi naftas produktu noplūdes gadījumā, ir ieteicams konstrukcijā iestrādāt smagāka svara ģeotekstila slāni, kas adsorbēs naftas produktus. Ja šāds risks ir mazvarbūtisks, tad šis slānis nav nepieciešams (Woods Ballard u.c., 2015), tā kā ģeotekstils var potenciāli aizsērēties (jo īpaši, ja tam ir mazāks poru izmērs jeb O90 rādītājs).

### **3. NODAĻA**

#### APSTĀDĪJUMU UN AUGSNES NOZĪME ILŪA SISTĒMĀS



Jaunā teika. ALPS ainavu darbnīca.  
Foto Ieva Andersone

Raugoties plašākā kontekstā, pilsētās apstādījumi un augsne ir vieni no svarīgākajiem elementiem, kas regulē dažādus ekosistēmas pakalpojumus, t.i., ieguvumus, ko ekosistēmas sniedz cilvēkiem (Bolund & Hunhammar, 1999), kas nodrošina pilsētvides ilgtspējību (Bonan, 2008; Gill et al. 2007), un tādējādi tie ir definējami kā ekoloģiski instrumenti urbanizācijas un klimata pārmaiņu seku mazināšanai. Šo ekosistēmu pakalpojumi ietver, bet neaprobežojas ar: vietējā klimata regulēšanu, hidroloģijas modifikāciju, notekūdeņu attīrīšanu, vietējo bioloģiskās daudzveidības veicināšanu, kā arī pilda estētiskās funkcijas un piedāvā atpūtas iespējas (Steiner & Domm, 2012; Daily, 1997; Gill et al. 2007; Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Mooney et al., 2009; Yuan, 2016). Turklāt pilsētas apstādījumi ne tikai ievērojami papildina estētiskās vērtības, lai tās būtu pievilcīgas cilvēkiem (Kingsbury, 2004), bet arī pozitīvi ietekmē cilvēka fizioloģiskos un emocionālos stāvokļus, tādējādi veicinot pilsētu iedzīvotāju labklājību (Ulrich, 1986; Yuan, 2016).

Vairākos pētījumos tiek apstiprināts arī ekonomiskais ieguvums ko var sniegt pārdomātas ILŪA sistēmas salīdzinājumā ar tradicionālajām lietus ūdens noteksystemām (Andoh & Declerck, 1999; Coombes, 2002; Coombes et al., 2000; Kuhn & Frevert, 2010; Yuan, 2016).

Lietusdārzi un citas ILŪA sistēmas ir atkarīgas no veģetācijas un augsnes, lai uzglabātu, infiltrētu un veicinātu lietus ūdens evapotranspirāciju. Lietus ūdens noteces samazināšanas procesi ietver apstādījumu ietekmi uz lietus ūdens uzkrāšanu un iztvaicēšanu, kā arī infiltrāciju augsnē (Jennings et al. 2015; Yuan, Dunnett, Stovin, 2017).

## AUGSNES NOZĪME ILŪA SISTĒMĀS

Augsne ne tikai nodrošina dabiskos oglekļa, barības vielu un ūdens krājumus, kas veicina augu produktivitāti un augsnes bioloģisko daudzveidību (ieskaitot augsnes mikroorganismus un makro bezmugurkaulnieku kopienas) (Lavelle et al., 2014; Schröter et al., 2005; Yuan, 2016), bet augsnes sastāvs ir arī viens no svarīgākajiem aspektiem, lai palīdzētu uzlabot ILŪA sistēmu darbību. Augsne ir kritiski svarīgs sistēmas elements, jo tajā notiek infiltrācija, ķīmiskā sorbcija un bioloģiskās reakcijas piesārņotāju noņemšanai (Shrestha u.c., 2019). Lai uz ILŪA sistēmu novadītais lietus ūdens infiltrētos lielos daudzumos, augsnei jābūt ar augstu hidraulisko vadītspēju. Hidrauliskā vadītspēja galvenokārt ir atkarīga no substrāta poru lieluma, jo lielākas poras ūdeni vada ātrāk (Hsieh, Davis, 2005).

Salīdzinot ar dabisko augsni, ILŪA sistēmu inženierētās (mērķtiecīgi strukturētas) augsnes ir ievērojami smilšainākas. Tās sastāv no ļoti caurlaidīga substrāta slāņa, kura sastāvā ir rupjas smiltis, piemēram, 93% smilšu, 6% kūdras un 1% māla maisījums, vidējais izmērītais graudu izmērs:  $D_{50} \approx 0,8$  mm (Géhéniau u.c., 2015) vai 85–88% smilšu (0,050–2,0 mm), 8–12% smalkumu (<0,050 mm) un 3–5% organiskās vielas, infiltrācijas ātrumam jābūt lielākam par 25 mm / h (Ding, Passeport, 2017).

Vienveidīgas rupjas struktūras smiltis ir ļoti efektīvas, lai veicinātu augstu noteces infiltrācijas ātrumu un piesārņotāju masas noņemšanu. Ņemot vērā ILŪA sistēmas veģetatīvos un ekoloģiskos aspektus, augu augšanai un piesārņojuma filtrēšanai tomēr ir nepieciešams noteikts auglīgas augsnes dziļums. Daudzslāņains substrāts ar caurlaidīgu smilšu / augsnes maisījuma slāni nodrošina vislabāko bioloģiskās ūdens savākšanas sistēmas efektivitāti (Hsieh, Davis, 2005).

Sistēmas augšējais substrāta slānis ir kritisks sistēmas veiktspējai, jo lietus ūdens krājas uz virsmas tiklīdz noteces apjoms kļūst lielāks par infiltrācijas ātrumu augšējā augsnes slānī. Nepietiekami caurlaidīgs augšējais slānis ierobežo kopējo infiltrācijas ātrumu, kaut arī apakšējie slāņi būtu ļoti caurlaidīgi. Attiecībā uz lietus ūdens attīrīšanu, notekūdeņu īslaicīga uzglabāšana augšējā augsnes slānī ir labāka nekā to akumulācija uz augsnes. Tādā veidā notekūdeņos esošie piesārņotāji var tikt uzsūkti substrātā vai asimilēti ar augsnē esošajiem mikroorganismiem (Hsieh, Davis, 2005). Arī mulčas slānis var filtrēt ienākošos piesārņotājus un novērst sistēmas aizsērēšanu. Turklāt mulčas slānis var palīdzēt saglabāt augsnes mitrumu sausā laikā un nodrošināt barības vielas augiem. Līdz ar to augšējais sistēmas slānis ieteicama mulča ar labu filtrēšanas spēju, augstu caurlaidību  $d_{10} > 0,1$  mm un atbilstošu viendabīgumu (Hsieh, Davis, 2005).

ILŪA sistēmās jāveido līdzsvaru starp augsnes caurlaidību un tās spēju attīrīt nokrišņu notekūdeņus. Tādēļ ILŪA sistēmās augsnes sastāvs ir īpaši būtisks, lai noteiktu šīs sistēmas veiktspējas raksturlielumus (Hsieh, Davis, 2005).

## APSTĀDĪJUMU NOZĪME ILŪA SISTĒMĀS

Augi dažādos veidos maina augsnes un ūdens dinamiku. Augi ar saknēm var palielināt un izstiept augsnes poras (McCallum et al. 2004), novērst augsnes sablīvēšanos un radīt makroporas augsnē (Yunusa, Newton 2003). Pētījumi liecina, ka apstādījumu izveide paaugstina infiltrācijas ātrumu lietūs dārzos, jo tiek uzlabota augsnes caurlaidība un porainība (Gonsalesa-Merčana et al., 2014; Virahsawmy et al., 2014; Yuan, Dunnett, Stovin, 2017).

Augu sakņu sistēma palīdz uzturēt arī hidraulisko vadītspēju un mazināt lietūs ūdens sistēmu aizsērēšanu (Le Coustumer et al., 2012). Šai funkcijai vispiemērotākās ir augu sugas ar lielāku sakņu masas blīvumu un sakņu diametru, it īpaši kokaugu sugas (Goh et al., 2017; Le Coustumer et al., 2012; Dagenais, Brisson, Fletcher, 2018).

Lietūs ūdeņi uz laiku var tikt aizturēti augu audos (Nagase un Dunnett 2012), bet to galvenais ieguldījums ILŪA sistēmās ir evapotranspirācija (ET) (Lundholm et al. 2010). Augi ar lielāku virszemes biomasu parasti tiek saistīti ar paaugstinātu ET līmeni, kā arī jāmin, ka augšanas periodā ET rādītāji būs augstāki nekā miera periodos (Hunt et al., 2006, Lundholm et al., 2010). Arī Kokaugi ar plašākiem vainagiem var ievērojami uzlabot ET arī mazām nokrišņu notekūdeņu apsaimniekošanas sistēmām (Yuan, Dunnett, Stovin, 2017).

Augu izvēle var ietekmēt ET un infiltrācijas apjomu, mainot ILŪA sistēmas lietūs ūdens uzglabāšanas kapacitāti. Džonstons (2011) salīdzinājis četras bioloģiskās ūdens savākšanas sistēmas (kontroles, ar zālienu, prērijas tipa apstādījumi un krūmu apstādījumi), atklājot, ka vislielākais noteces līmenis bija saistīts ar zāliena sistēmām, savukārt vislielākais lietūs ūdens noteces apjoma samazinājums bija saistīts ar krūmiem un prēriju tipa apstādījumu sistēmām. Tāpat tika novērots, ka prēriju tipa apstādījumiem ET līmenis bija nemainīgi augstāks nekā zālājam (Juans, Dannets, Stovins, 2017). Šajā pētījumā Džonstons

(2011) arī atklāja, ka pirms lietusgāzēm lietūs dārziem, kas papildināti ar prēriju un krūmu apstādījumiem, augsnes piesātinājums ar ūdeni bija ievērojami zemāks 0–0,15 un 0,30–0,45 m dziļumā (attiecīgi par 3–4 un 10% zemāks), salīdzinot ar līdzīgām sistēmām, kurās apstādījumu vietā tika ierīkots zāliens. Tas vedina domāt, ka veģetācijas izvēle sauso periodu laikā var mainīt bioloģiskās ūdens savākšanas sistēmas lietūs ūdens uzglabāšanas kapacitāti, izmantojot ET izraisītas izmaiņas iepriekšēja ūdens apjomā (Nocco, Rouse, Balster, 2016). Augu sugas, kuru izcelsmes reģionam raksturīgi augsta stresa apstākļi: nabadzīgas augsnes ar augstu ūdens caurlaidības koeficientu, mainīgi, nepastāvīgi mitruma apstākļi, piemēram, stepes un prērijas, būs piemērotas lietūs dārzu izveidei (Hitchmough, 2020).

Ņemot vērā apsvērumus par ekosistēmas pakalpojumu stiprināšanu un apstādījumu estētisko sniegumu ILŪA sistēmās, daudzas vadlīnijas iesaka šajās sistēmās stādīt daudzveidīgu sugu klāstu (Atchison et al., 2006; Dunnett & Clayden, 2007; Steiner & Domm, 2012; Juaņa, 2016).

Ir pierādījumi, ka rūpīgi atlasītas apstādījumu sugas var dot lielāku labumu kā monokultūras apstādījumi (Rixen un Mulder 2005). Kā viens no veidiem, kas to veicina, ir, kad augstākus augus ieskauj zemāki augi, tādējādi tiek veicināts paaugstināts ūdens zudums augsnē caur ET (Allen et al. 1998). Citi veidi, kā tiek uzlabota bioloģiskās ūdens savākšanas sistēmu darbība, ietver augu lapotņu pārklāšanos, kas palielina lietūs ūdens pārtveršanu, un sakņu dziļuma un sakņu īpašību plašāks diapazons, kas paplašina augsnes poru diapazonu (Juans, Dannets, Stovins, 2017).

Jaukti ziemciešu apstādījumi visefektīvāk samazina lietūs ūdens noteci, nodrošinot noteces aizturi un mazinot maksimālo noteces ātrumu, salīdzinot ar apstādījumiem, kuros izmantotas tikai monokultūras, kas (piemēram, nopļauts zāliens) piedāvā ierobežotas iespējas uzlabot lietūs

ūdens aizturēšanu, lai gan tas neapšaubāmi palīdz stabilizēt augsni un samazināt erozijas riskus (Juans, Dannets, Stovins, 2017). Tāpat arvien vairāk tiek atzīts, ka bioloģiskās daudzveidības priekšrocības var labāk realizēt, izmantojot daudzfunkcionalitātes pieeju, t.i., ja vienlaikus tiek aplūkotas vairākas ekosistēmas funkcijas (Gamfeldt et al., 2008; Dagenais, Brissons, Flečers, 2018).

Pretēji tam, ko parasti norāda ILŪA sistēmu vadlīnijas, nav skaidru pētījumu, ka vietējie augi nodrošina augstāku efektivitāti nekā svešzemju augi lietus ūdens sistēmās, kā arī nav skaidru pierādījumu tam, kāpēc lai tā būtu. Vietējo augu izmantošana var veicināt vietējo bioloģisko daudzveidību, lai gan arī svešzemju augi var dot labumu bioloģiskajai daudzveidībai. Vietējo augu izmantošanā spēcīgs arguments ir arī vietas identitātes stiprināšanai. Tādējādi, ja iespējams, jālieto vietējie augi, un jāveicina eksperimentāli pētījumi sugu pielietošanai ILŪA sistēmās. Tomēr nevajadzētu atstāt piemērotu svešzemju augu pielietošanu, jo dažās situācijās, piemēram, stresa apstākļos, kur vietējās sugas nav izturīgas, to lietošana var būt vēlama. Protams, sugas, par kurām ir aizdomas vai kuras ir zināmas kā invazīvas, nedrīkst izmantot bioloģiskās ūdens savākšanas sistēmās (Dagenais, Brissons, Flečers, 2018). Ilgtspējīgu pilsētas veģetāciju var radīt gan vietējās sugas, gan svešzemju sugas, kas iegūtas no līdzīga klimata reģioniem (Hitchmough, 2011; Kingsbury, 2004; Yuan, 2016).

Divos pētījumos tika salīdzinātas blakus esošas apstādītās un neapstādītās ILŪA sistēmas (Gonzalez-Merchan et al., 2012; Virahsawmy et al., 2013). Šajos abos pētījumos pierādīts, ka sistēmās ar apstādījumiem ir augstāks lietus ūdens infiltrācijas līmenis (Dagenais, Brisson, Fletcher, 2018).

Kopumā var secināt, ka empīriskie pētījumi apstiprina teoriju, ka apstādījumi palielina vai uztur ILŪA sistēmu caurlaidību (Dagenais, Brisson, Fletcher, 2018).

Apstādījumu kvalitāte ILŪA sistēmās ir ļoti atkarīga no atbilstošu augu sugu izvēles, kas piemērotas, lai izturētu šādu sistēmu klimatisko apstākļu radīto stresu. Mitrums ir būtisks faktors, kas ietekmē šos klimatiskos apstākļus. Kā jau iepriekš minēts, lielākā daļa ILŪA sistēmas veidotas tā, lai būtu nodrošināta paātrināta infiltrācija un iztvaikošana, lai tie tikai īslaicīgi uzglabātu lietus ūdeni un izvairītos no ilgstošas ūdens uzkrāšanās sistēmā. Mitruma stāvoklis šajās sistēmās periodiski mainās starp režīmu “vidēji mitrs – sauss”. Cikliskie plūdi ir īpatnējie apstākļi ILŪA sistēmās, kuri raksturojami kā atkārtoti posmi ar sistēmas applūšanu un drenāžu laika gaitā (Dylewski et al., 2011; Yuan, 2016).

Augu mitruma toleranci var iedalīt četrās kategorijās (tās ir tikai vadlīniju kategorijas un paredzētas, lai informētu par aptuvenu augu mitruma nepieciešamību). Šīs četras kategorijas ir sekojošas:

- **Slapjš:** augsne nepārtraukti piesātināta ar ūdeni, novērojami ilgstoši stāvoša virszemes ūdens periodi. Ietver purva klimatiskos apstākļus.
- **Mitrs:** augsne pastāvīgi mitra. Augi, kas panes ilgākus plūdu periodus.
- **Vidēji mitrs:** augsne nav ne pārāk mitra, ne pārāk sausa. Augi, kas izturīgi pret īslaicīgiem plūdu periodiem.
- **Sauss:** augi, kuri piemēroti ilgstošiem sausuma periodiem (Dunnett & Clayden, 2007).

15. tabula.

ILŪA sistēmām piemērotie augi Latvijas klimatiskajiem apstākļiem (Dunnett & Clayden, 2007; Brodsky, et al., 2019; Lange, Viklander, Blecken, 2020; Søberg, et al., 2014; Nikolić, Stevović, 2015; Nelson, McGinnis, Daigh, 2018; Dadea et al., 2017; Lhomme-Duchadeuil, 2018; Sæbø et al., 2012; Dimitriou, Aronsson, 2005)

Latīniskais nosaukums	Latviskais nosaukums	Slapjš	Mitrs	Vidēji mitrs	Sauss
<i>Achillea filipendulina</i>	vīgriežu pelašķis				X
<i>Agrostis capillaris</i>	parastā smilga			X	X
<i>Amorpha canescens</i>	lesirmā amorfa			X	X
<i>Amsonia tabernaemontana</i>	vītollapu amsonija			X	
<i>Anemone japonica 'white'</i>	Japānas anemone šķ.				X
<i>Aquilegia canadensis</i>	Kanādas ozolīte			X	
<i>Armeria maritima</i>	Jūrmalas armērija				X
<i>Aruncus dioicus</i>	divmāju kazbārdis		X	X	
<i>Asclepias syriaca</i>	Sīrijas asklēpija			X	
<i>Aster amellus</i>	vīrsāju (Amelas) ziemastere			X	X
<i>Aster novae-angliae</i>	Jaunanglijas ziemastere		X	X	X
<i>Aster novii-belgii</i>	Jaunbelģijas ziemastere		X	X	
<i>Astilbe chinensis</i>	Ķīnas astilbe			X	X



**15. tabula.**

**ILŪA sistēmām piemērotie augi Latvijas klimatiskajiem apstākļiem (Dunnett & Clayden, 2007; Brodsky, et al., 2019; Lange, Viklander, Blecken, 2020; Søbørg, et al., 2014; Nikolić, Stevović, 2015; Nelson, McGinnis, Daigh, 2018; Dadea et al., 2017; Lhomme-Duchadeuil, 2018; Søbø et al., 2012; Dimitriou, Aronsson, 2005)**

Latīniskais nosaukums	Latviskais nosaukums	Slapjš	Mitrs	Vidēji mitrs	Sauss
<i>Astrantia major</i>	Lielā zvaigznīte (astrancija)		X		
<i>Betonica officinalis</i>	Pātaine dziedniecības			X	X
<i>Calamintha nepeta</i>	Kaķumētras piparmētra			X	X
<i>Caltha palustris</i>	purva purene	X	X		
<i>Carex panicea</i>	Sāres grīslis	X	X		
<i>Carex spp.</i>	Grīši	X	X	X	
<i>Centaurea montana</i>	kalnu dzelzene				X
<i>Cynogolssum amabile</i>	Burvīgā suņmēle		X		
<i>Coreopsis verticillata</i>	smalklapu brūnactiņa				X
<i>Deschampsia cespitosa</i>	parastā ciņusmilga		X	X	X
<i>Dianthus carthusianorum</i>	Kortūza neļķe				X
<i>Dryopteris filix-mas</i>	melnā ozolpāpārde				
<i>Echinacea pallida</i>	bālā ehinācija			X	X

15. tabula.

ILŪA sistēmām piemērotie augi Latvijas klimatiskajiem apstākļiem (Dunnett & Clayden, 2007; Brodsky, et al., 2019; Lange, Viklander, Blecken, 2020; Søberg, et al., 2014; Nikolić, Stevović, 2015; Nelson, McGinnis, Daigh, 2018; Dadea et al., 2017; Lhomme-Duchadeuil, 2018; Sæbø et al., 2012; Dimitriou, Aronsson, 2005)

Latīniskais nosaukums	Latviskais nosaukums	Slapjš	Mitrs	Vidēji mitrs	Sauss
<i>Echinacea purpurea</i>	purpura ehinācija		X	X	
<i>Echinops ritro</i>	augstā ežzieme				X
<i>Eupatorium cannabinum</i>	lielā krastkaņepe			X	X
<i>Euphorbia polychroma</i>	daudzkrāsu eiforbija			X	X
<i>Festuca ovina</i>	aitu auzene			X	X
<i>Fragaria vesca</i>	mēness zemene			X	X
<i>Fritillaria meleagris</i>	rūtainā fritilārija		X		
<i>Gaillardia grandiflora</i>	gailardija		X	X	
<i>Gaura lindheimeri</i>	Lindheimera gaura			X	X
<i>Geum</i>	Bitene		X	X	X
<i>Geum triflorum</i>	Trīsziedu bitene			X	X
<i>Helianthus annuus</i>	Vasaras saulgrieze		X	X	
<i>Helictotrichon sempervirens</i>	mūžzaļā pļavauzīte				X

15. tabula.

ILŪA sistēmām piemērotie augi Latvijas klimatiskajiem apstākļiem (Dunnett & Clayden, 2007; Brodsky, et al., 2019; Lange, Viklander, Blecken, 2020; Søberg, et al., 2014; Nikolić, Stevović, 2015; Nelson, McGinnis, Daigh, 2018; Dadea et al., 2017; Lhomme-Duchadeuil, 2018; Sæbø et al., 2012; Dimitriou, Aronsson, 2005)

Latīniskais nosaukums	Latviskais nosaukums	Slapjš	Mitrs	Vidēji mitrs	Sauss
<i>Heliopsis helianthoides</i>	skarbā saulesactiņa			X	X
<i>Hemerocallis lilioasphodelus</i>	dzeltenā dienzieme		X	X	X
<i>Heuchera sanguinea</i>	asinsarkanā heihēra			X	X
<i>Iris sibirica</i>	Sibīrijas īriiss			X	
<i>Juncus conglomeratus</i>	kamolu donis	X	X	X	
<i>Knautia macedonica</i>	Maķedonijas knautija				X
<i>Kniphofia</i>	zemā knifofija			X	X
<i>Leymus arenarius</i>	smiltāju kāpu kviesis				X
<i>Limonium latifolium</i>	platlapu limonija				X
<i>Lychnis coronaria</i>	vainagveida guntiņa				X
<i>Lychnis flos cuculi</i>	pļavas spulgnaglens		X	X	X
<i>Lythrum salicaria</i>	vītollapu vējmietišš		X	X	X
<i>Lysimachia nummularia</i>	pļavu zeltene		X	X	

15. tabula.

ILŪA sistēmām piemērotie augi Latvijas klimatiskajiem apstākļiem (Dunnett & Clayden, 2007; Brodsky, et al., 2019; Lange, Viklander, Blecken, 2020; Søberg, et al., 2014; Nikolić, Stevović, 2015; Nelson, McGinnis, Daigh, 2018; Dadea et al., 2017; Lhomme-Duchadeuil, 2018; Sæbø et al., 2012; Dimitriou, Aronsson, 2005)

Latīniskais nosaukums	Latviskais nosaukums	Slapjš	Mitrs	Vidēji mitrs	Sauss
<i>Luzula nivea</i>	sniegbaltā zemzālīte			X	X
<i>Malva moschata</i>	smaržīgā malva				X
<i>Miscanthus sinensis</i>	Ķīnas miskante			X	X
<i>Molinia caerulea</i>	zilganā molīnija		X	X	X
<i>Nepeta × faassenii</i>	Fāsena kaķumētra			X	X
<i>Oenothera biennis</i>	ivgadīgā naktssvece		X	X	
<i>Panicum virgatum</i>	rikšu sāre (prosa)			X	X
<i>Penstemon digitalis</i>	uzpirksteņu penstemone		X	X	
<i>Perovskia atriplicifolia</i>	balodeņlapu perovskija				X
<i>Persicaria amplexicaule</i>	svečveida sūrene		X	X	X
<i>Persicaria bistorta</i>	zalkšu sūrene		X		
<i>Phalaris arundinaceae</i>	parastais miežabrālis	X	X		
<i>Physostegia virginiana</i>	Virdžīnijas fizostēģija		X	X	

**15. tabula.**

**ILŪA sistēmām piemērotie augi Latvijas klimatiskajiem apstākļiem (Dunnett & Clayden, 2007; Brodsky, et al., 2019; Lange, Viklander, Blecken, 2020; Søberg, et al., 2014; Nikolić, Stevović, 2015; Nelson, McGinnis, Daigh, 2018; Dadea et al., 2017; Lhomme-Duchadeuil, 2018; Sæbø et al., 2012; Dimitriou, Aronsson, 2005)**

Latīniskais nosaukums	Latviskais nosaukums	Slapjš	Mitrs	Vidēji mitrs	Sauss
<i>Phlox divaricata</i>	izplestais floksis			X	X
<i>Phragmites australis</i>	parastā niedre	X	X	X	
<i>Polemonium caeruleum</i>	zilā kāpnīte			X	X
<i>Primula florindae</i>	Florindas pīrmula		X	X	
<i>Primula vulgaris</i>	bezstumbra pīrmula		X	X	
<i>Pulsatilla vulgaris</i>	parastā silpurene				X
<i>Rodgersia pinnata</i>	plūksnainā rodžersija		X		
<i>Rudbeckia fulgida</i>	mirdzošā rudbekija		X	X	
<i>Rumex acetosa</i>	pļavas skābene		X	X	
<i>Salvia nemorosa</i>	birztalu salvija			X	X
<i>Sanguisorba officinalis</i>	ārstniecības brūnvāļīte			X	X
<i>Saponaria officinalis</i>	dziedniecības ziepsakne				X
<i>Scabiosa columbaria</i>	baložu skabioza				X

15. tabula.

ILŪA sistēmām piemērotie augi Latvijas klimatiskajiem apstākļiem (Dunnett & Clayden, 2007; Brodsky, et al., 2019; Lange, Viklander, Blecken, 2020; Søberg, et al., 2014; Nikolić, Stevović, 2015; Nelson, McGinnis, Daigh, 2018; Dadea et al., 2017; Lhomme-Duchadeuil, 2018; Sæbø et al., 2012; Dimitriou, Aronsson, 2005)

Latīniskais nosaukums	Latviskais nosaukums	Slapjš	Mitrs	Vidēji mitrs	Sauss
Sedum hybride	hibrīdais laimiņš				X
Solidago	zeltslotiņa hibrīdā	X	X	X	
Sporobulus heterolepis	izplestā sporobola			X	X
Stachys byzantina	vilnainā sārmene				X
Stipa calamagrostis	stepjulīga				X
Stipa gigantea					X
Succisa pratensis	pļavas vilkmēle			X	X
Tanacetum vulgare	cirtainais biškrēsliņš		X	X	X
Trollius europaeus	Eiropas saulpurene		X	X	
Verbena bonariensis	Buenosairesas verbēna				X
Verbena hastata	Amerikas verbēna	X	X		
Veronica longifolia	garlapu veronika	X	X	X	
Veronicastrum virginicum	Virdžīnijas veronika		X	X	X

**15. tabula.**

ILŪA sistēmām piemērotie augi Latvijas klimatiskajiem apstākļiem (Dunnett & Clayden, 2007; Brodsky, et al., 2019; Lange, Viklander, Blecken, 2020; Sørberg, et al., 2014; Nikolić, Stevović, 2015; Nelson, McGinnis, Daigh, 2018; Dadea et al., 2017; Lhomme-Duchadeuil, 2018; Sæbø et al., 2012; Dimitriou, Aronsson, 2005)

Kokaugi					
Latīniskais nosaukums	Latviskais nosaukums	Slapjš	Mitrs	Vidēji mitrs	Sauss
<i>Aronia melanocarpa</i>	melnaugļu aronija		X	X	X
<i>Betula nigra</i>	melns bērzs		X	X	X
<i>Betula pendula</i>	āra bērzs			X	X
<i>Betula pubescens</i>	purva bērzs	X	X		
<i>Carpinus betulus</i>	parastais skābardis		X	X	
<i>Cornus alba</i>	baltais grimonis		X	X	
<i>Cornus sanguinea</i>	asinssarkanais grimonis	X	X	X	
<i>Fraxinus excelsior</i>	parastais osis		X	X	
<i>Hydrangea quercifolia</i>	ozollapu hortenzija		X	X	
<i>Mahonia aquifolium</i>	parastā mahonija		X	X	X
<i>Physocarpus opulifolius</i>	irbeņlapu fizokarps			X	
<i>Pinus mugo</i>	kalnu priede		X	X	
<i>Pinus sylvestris</i>	parastā priede	X	X	X	X
<i>Ribes nigrum</i>	ēdamās upenes	X	X	X	
<i>Salix spp.</i>	vītolu sugas	X	X	X	X
<i>Spiraea nipponica</i>	Nīponas spireja			X	X
<i>Stephanandra incisa</i>	iegrieztā stefanandra		X	X	

## APSTĀDĪJUMU UN AUGSNES IESPĒJAS LIETUS ŪDENS KVALITĀTES UZLABOŠANĀ

Apstādījumi veicina gaisa piesārņojuma samazināšanu, kā arī slāpē pilsētvides trokšņus, uzlabojot pilsētas dzīves vides kvalitāti (Beckett et al., 1998; Fang & Ling, 2005; Nowak et al., 2006). Apstādījumi un augsne nodrošina arī lietus ūdens attīrīšanu no smagajiem metāliem un barības vielām (Alloway & Jackson, 1991; Raskin et al., 1997; Lee et al., 2010; Yang et al., 2013; Yuan, 2016).

Dažādām augu sugām var būt atšķirīga skābekļa transportēšanas spēja sakņu sistēmā, sakņu piemērotība mikroorganismu piesaistei, to spējai uzņemt un piesaistīt barības vielas un organiskos savienojumus, kas var uzlabot ūdens aprites efektivitāti ILŪA sistēmās (Allen et al., 2002; Liang et al., 2011; Sheoran, 2006; Zhang et al., 2010; Dagenais, Brisson, Fletcher, 2018).

Pieaug pētījumu skaits, kuros ir pierādīts, ka apstādījumiem (t.i. augiem un ar tiem saistītajiem mikroorganismiem) ir pozitīva loma vairāku, bet ne visu, ILŪA sistēmu darbības mērķu sasniegšanā. Tie īpaši veicina slāpekļa piesārņojuma likvidēšanu, kā arī paaugstina sistēmu infiltrācijas spējas (Dagenais, Brissons, Flečers, 2018). Pētījumos pierādīts, ka tieši augiem ir galvenā loma slāpekļa piesārņojuma likvidēšanā, jo ILŪA sistēmas, kurās nav apstādījumu, notiek slāpekļa izskalošanās (Hatt et al., 2006; Lee un Schloz, 2007; Henderson, Greenway, Phillips, 2007; Blekens et al., 2007). Arī augu atlase ir ļoti svarīga, jo ir pētījumi, kas liecina, ka sakņu garums, sakņu dziļums, sakņu masa un augu augšanas ātrums ir svarīgas morfoloģiskās īpašības, kas veicina slāpekļa piesārņojuma likvidēšanu. (Dagenais, Brissons, Flečers, 2018). Izdalot skābekli un eksudātus rizosfērā, augiem var būt svarīga loma ūdens attīrīšanā, nodrošinot labvēlīgus apstākļus baktēriju aktivitātei (Payne et al., 2013; Chaudhry et al., 2005; Kamath et al., 2004; Dagenais, Brisson, Fletcher, 2018).

Pētījumos secināts, ka metāla piesārņotājus galvenokārt aiztur augsne un mulča, bet dažos gadījumos augi var darboties kā hiperakumulatori, kas būtiski veicina metālu aizturi (Davis et al. 2001; Muthanna et al., 2007a, b; Sun un Davis, 2007; Dagenais, Brisson, Fletcher, 2018).

ILŪA sistēmās dažādi augsnes sastāvi demonstrē atšķirīgu piesārņotāju attīrīšanas efektivitāti. Piemēram, augsnes pH ietekmē Pb, Cu, niķeļa un Zn adsorbciju un desorbciju (Hsieh, Davis, 2005). Arī neliela starpība augsnes granulometriskajā sastāvā vai tās neviendabīguma atšķirības var mainīt infiltrācijas ātrumus. Līdzīgas augsnes komponentes ar dažādām ķīmiskām īpašībām attīra lietus ūdeni no piesārņotājiem, izmantojot dažādus mehānismus. Tāpēc noteces infiltrācijas ātrums un lietus ūdens attīrīšanas efektivitāte var būt ļoti atšķirīga starp dažādiem augsnes veidiem, pat ja augsnes tekstūras ir līdzīgas (Hsieh, Davis, 2005).

Tomēr jāņem vērā, ka apstādījumi un augsne nevar efektīvi uzņemt visus nokrišņu notekūdeņos esošos piesārņotājus. Ja augsta infiltrācija un vietas apstākļi rada bažas par gruntsūdeņu piesārņojumu, problēmas risināšanai var pielietot citas inženiertehniskās alternatīvas, piemēram, mazāk caurlaidīga augsnes slāņa izveidi sistēmas apakšējā daļā (Hsieh, Davis, 2005).



## **4. NODAĻA**

ZAĻIE RISINĀJUMI LATVIJAI RAKSTURĪGOS  
KLIMATISKAJOS APSTĀKĻOS



Barona iela. ALPS ainavu darbnīca.  
Foto Ieva Andersone

Aukstais klimats pilsētas lietusūdens apsaimniekošanā rada dažādas papildu problēmas gan attiecībā uz ūdens tilpumu, gan ūdens kvalitāti. Hidroloģiskais cikls kļūst sarežģītāks, tam pievienojot aukstumu un sniegu (Marsalek, 1991). Četras galvenās papildu problēmas ir saistītas ar aukstu klimatu, zemu temperatūru, ilgstošiem sala periodiem, īsiem veģetācijas augšanas periodiem un biezu sniega segu (Caraco un Claytor, 1997). Projektējot jebkuras lietusūdens sistēmas, vienmēr ir bažas par sasalušām caurulēm, lēnāku infiltrāciju, veģetācijas izveidošanos un pavasara sniega un ledus kušanu. Nepareizi projektētas lietusūdeņu apsaimniekošanas sistēmas var izraisīt plūdus ziemas atkušņu laikā un pavasarī strauji iestājoties siltam laikam, kad kūst sniegs un ledus, bet augsne vēl ir sasalusi. Trondheimā tika konstatēts, ka 7 no 12 lielākajiem plūdiem laikā no 1978. līdz 2000. gadam notika ziemā (Nilsen un Bjørgum, 2001).

Ziemas periodā ir svarīgi apzināties, ka ielas, ceļi un stāvlaukumi tiks apstrādāti ar pretslīdes materiāliem un sāls maisījumu ledus kausēšanai no brauktuvēm. Sniegs tiek tīrīts un sakrauts ceļu, ielu un stāvlaukumu malās, kur parasti ir izvietoti lietusedārzi. Piesārņotāju, jo īpaši smago metālu, uzkrāšanās palielinās, jo sniegs tiek uzglabāts brauktuviņu malās sakrautajā sniegā. Šis uzkrāšanās rezultātā metāla koncentrācija var būt augstāka nekā citur pilsētā nokritušam sniegam (Malmqvist, 1978). Ziemas laikā kā attīrītājs nestrādā veģetācija, tas ietekmē attīrīšanas efektivitāti aukstajos ziemas mēnešos (Novotny u.c., 1999). Piesārņojošo vielu uzkrāšanās izmaiņas ietekmē arī kausētā ūdens kvalitāti. Novotnijs un citi (1999) apgalvo, ka sniega kušanas ūdeņos parasti ir zemāka suspendēto vielu koncentrācija, bet daudz augstāka izšķīdušo cieto vielu koncentrācija. Ziemas periodā kušanas ūdeņu attīrītājs ir sausa labi drenējoša mulča, drenējošs grunts/melnzemes slānis, kas būdams sauss var ātri atsalt. Sausumu parasti nodrošina ar drenāžas klātbūtni zem drenējoša grunts slāņa. Ja tomēr grunts ir sasalusi dziļi, tad vienīgā attīrīšanas iespēja ir izmantojot lietusūdeņu attīrīšanas ietaises akās, kur tiek nodrošināta ieplūstošo ūdeņu nesasalšana un attīrīšana. Ja ir pietiekoši lieli lietusedārzi vai uzkrāšanas dīķi, tad tajos šos ūdeņus, sniegu un ledu var uzkrāt līdz pavasarim, kad atkususi augsne spēs tos infiltrēt. Pavasarim tuvojoties, augsni var perforēt, lai tiktu līdz nesasalušiem slāņiem, kuri nodrošina infiltrāciju.

## HIDROLOĢISKĀ VEIKTSPĒJA SASALŠANAS APSTĀKĻOS

Svarīgi faktori, kas jāņem vērā infiltrācijas veiktspējas nodrošināšanai ir augsnes sasalšana un augsnes infiltrācijas spēja, kā arī sniega kušana. Ziemā ir vairāki atkušņi, kad sniegš nokūst vai tiek izmantota ķīmija sniega kausēšanai, šie procesi parasti rada zemu noteces apjomu un samazina plūdu iespējamību pavasarī. Ja sniegš tiek uzkrāts ceļa vai stāvlaukuma malā, tas var radīt mērenu plūsmas apjomu, bet ar lielu piesārņotāju slodzi, jo transporta plūsma, automašīnu izplūdes gāzes stāvlaukumos nosēžas sakrātajā sniegā, kas parasti uzkrāj vismagākās piesārņojošās vielas. Sniegš, kas kūst uz caurlaidīgiem segumiem, piemēram, uz zālāja un citām caurlaidīgām virsmām pilsētvidē, bieži rada vislielāko noteces tilpumu atkarībā no augsnes infiltrācijas ātruma (Oberts, 1994).

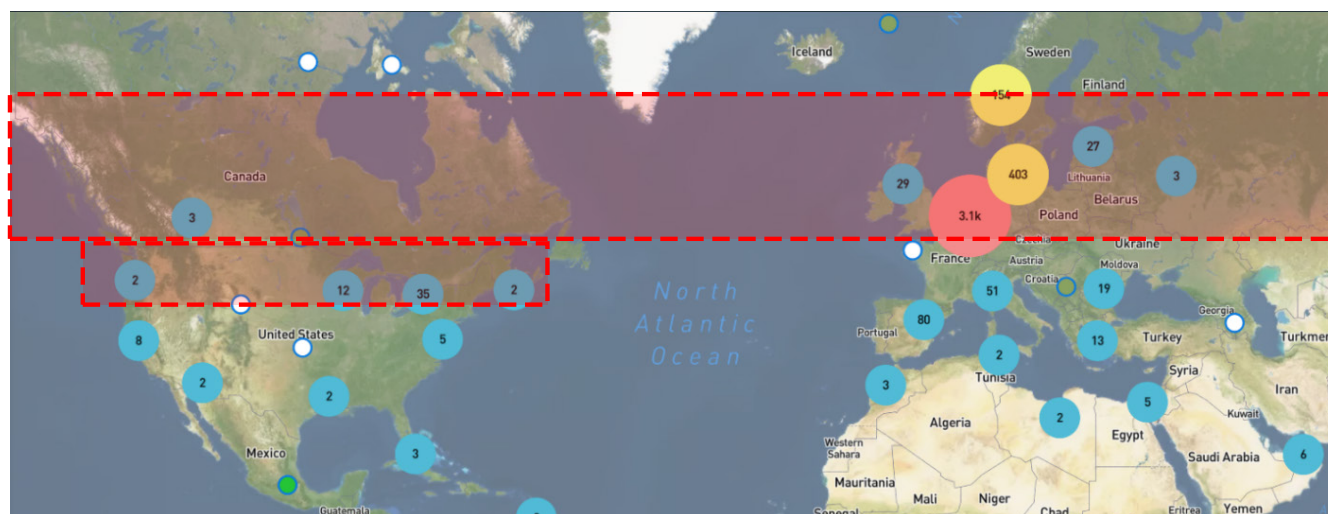
Lai pilsētas spētu pielāgoties klimata pārmaiņām, ir nepieciešamas pārmaiņas ierastajā publiskās ārtelpas struktūrā. Pēdējo gadu desmitu laikā šim mērķim starptautiskā mērogā ir ieviesti dažādi radoši zaļie

un zilie risinājumi, kurus mēs varam izmantot kā iedvesmu mūsu pašu projektiem. Šajā platformā ir dažādi risinājumi no valstīm, kurās ir līdzīgi klimatiskie apstākļi kā Baltijas valstīs. Platformā galvenokārt koncentrējas uz tēmām, kas saistītas ar pilsētu ilgtspējību dažādos klimatiskajos apstākļos un pielāgošanos klimata pārmaiņām (ClimateScan, 2020) (Restemeyer un Boogaard, 2021).

No Climate Scan platformas analizēta informācija par projektiem, kas realizēti teritorijās, kas klimatiski ir līdzīgas Latvijas situācijai, t.i., atrodas mērenajā klimata joslā, kur iespējama gan augsnes un grunts sasalšana ziemā, gan karstāki un sausāki periodi vasarā. Analizēto projektu teritorija orientējoši iezīmēta kartē un zemāk ir pievienoti daži labie piemēri no dažādām valstīm. Papildus tabulā iekļautajiem piemēriem, ir atrodamī labi piemēri arī par pazemes infiltrācijas kasetēm, kuras izvietotas gan zem ielām, gan zaļajās zonās, kuru pielietošana mērenajās klimata joslās vēl tiek pētīta dēļ grunts sasalšanas dziļumiem un gruntsūdens svārstībām.

### 9. attēls.

**Orientējošais Latvijai klimatiski līdzīgo teritoriju novietojums (ekrānuzņēmums no Climate Scan platformas)**




## 16. tabula.

ILŪA risinājumu labie piemēri no dažām valstīm ar Latvijas teritorijai līdzvērtīgiem klimatiskajiem apstākļiem

Nr.p.k.	Projekta vieta un īss raksturojums	Attēls
1	<p><b>Aasveienas skolas teritorija, Norvēģija</b></p> <p>Lietus noteces ūdeņu uzkrāšanas baseins un infiltrācija. Uzkrāšanas tilpums ir pietiekams, lai sasaluma laikā uz tā krautu un glabātu sniegu, bet atkušņa laikā uzkrātu tur izkusušo sniegu. Siltajā gadalaikā baseins uzkrāj un infiltre nokrišņu ūdeni.</p> <p>Avots: <a href="https://www.climatescan.nl/projects/2444/detail">https://www.climatescan.nl/projects/2444/detail</a></p>	
2	<p><b>Maskava, Krievija</b></p> <p>Pirmais ekstensīvais zaļais jumts uz Lomonosova vārdā nosauktās Universitātes ēkas. Izbūvēts 1990 gadā. Kopš tā laika ir eksperimentāli izbūvēti vēl vairāki jumti, piemēram, biroju ēkai Šeremetjevskajas Tagad labāk tiek saglabāts siltums, ūdens neplūst - mitrumu absorbē daudzslāņu augsnes paklājs un drenāža. Balstoties uz šiem objektiem, Krievija jau ir izstrādājusi vienotu zaļo jumtu standartu.</p> <p>Avots: <a href="https://www.climatescan.nl/projects/5500/detail">https://www.climatescan.nl/projects/5500/detail</a></p>	

## 16. tabula.

ILŪA risinājumu labie piemēri no dažām valstīm ar Latvijas teritorijai līdzvērtīgiem klimatiskajiem apstākļiem

Nr.p.k.	Projekta vieta un īss raksturojums	Attēls
3	<p><b>Lunda, Zviedrija</b></p> <p>Lietus ūdens uzglabāšanas dīķis, uz akmeņu/ šķembu gultnes, bet klāts ar veģetāciju, nodrošināta infiltrācija un attīrīšana. Ziemas apstākļos dīķa tilpums ir pietiekams sniega uzkrāšanai.</p> <p>Avots: <a href="https://climatescan.nl/projects/3374/detail">https://climatescan.nl/projects/3374/detail</a></p>	

- 4
- Malme, Zviedrija**
- Lietusdārzs nokrišņu notekūdeņu kvalitātes uzlabošanai no ielas un veloceļa  
Pirmais filtrs paredzēts rupjajai frakcijai, galvenokārt plastmasai, otrs filtrs sastāv no smalkām akmens šķembām un augiem. Akmeņi samazina ūdens ātrumu. Lietusdārzs izveidots garenā joslā starp veloceļu un automašīnu brauktuvi, tajā sastādīti arī koki. Filtri ir nesasalstoši un strādā arī ziemas periodā, kad ir atkušņi.

Avots: <https://climatescan.nl/projects/3305/detail>




16. tabula.

ILŪA risinājumu labie piemēri no dažām valstīm ar Latvijas teritorijai līdzvērtīgiem klimatiskajiem apstākļiem

Nr.p.k.	Projekta vieta un īss raksturojums	Attēls
5	<p><b>Toronto, Kanāda</b></p> <p>Automašīnu stāvvietā (15000m<sup>2</sup>) pie botāniskā dārza. Teritorijā 2012. gadā veikta modernizācija, izbūvējot ILŪA sistēmu ar mērķi attīrīt nokrišņu notekūdeņus izmantojot kombinētus zaļos risinājumus (infiltrāciju, biofiltrus, teritorijai raksturīgus augus). Bioievalkas pamatne izklāta ar šķembām veidota tā, lai vadītu noteci no stāvvietām uz esošo izplūdes vietu Wilketas upītē. Lietus ūdeņi infiltrējas, attīrās un nonāk tuvumā esošajā ūdenstecē gan caur ūdens caurlaidīgajiem segumiem, gan caur bioievalkām.</p> <p>Pirms šī projekta stāvlaukums bija galvenais pilsētas noteces avots Wilket Creek vētras laikā, veicinot eroziju, paaugstinot plūdu risku un pasliktinot lejupējo ūdens kvalitāti un ūdens biotopu.</p> <p>Avots: <a href="https://climatescan.nl/projects/4504/detail">https://climatescan.nl/projects/4504/detail</a></p>	 <p>Figure 3. Edwards Gardens Parking Lot retrofit: (A) Stormwater flow plan; (B) Bioswale concept diagram; (C) Bioswale stormwater inlet with loose stone; (D) Native plantings in the bioswale. Source: <a href="http://schollenandcompany.com/projects/edwards-gardens-parking-lot/">http://schollenandcompany.com/projects/edwards-gardens-parking-lot/</a></p> 

**16. tabula.**



**ILŪA risinājumu labie piemēri no dažām valstīm ar Latvijas teritorijai līdzvērtīgiem klimatiskajiem apstākļiem**

Nr.p.k.	Projekta vieta un īss raksturojums	Attēls
6	<p><b>Tallina, Igaunija</b></p> <p>Bioievalka/lietusdārzs Priisle parkā, dzīvojamā rajonā – nokrišņu notekūdeņu uzkrāšana un infiltrācija. Teritorija ir multifunkcionāla, tajā izvietoti gan rotaļu laukumi, gan piknika vietas, skeitparks, trenāžieru zāle u.c. Būvniecība pabeigta 2019. gadā. Uzkrāšanas tilpumi ir rēķināti arī ziemā sniega uzkrāšanai.</p> <p>Avots: <a href="https://climatescan.nl/projects/3798/detail">https://climatescan.nl/projects/3798/detail</a></p>	

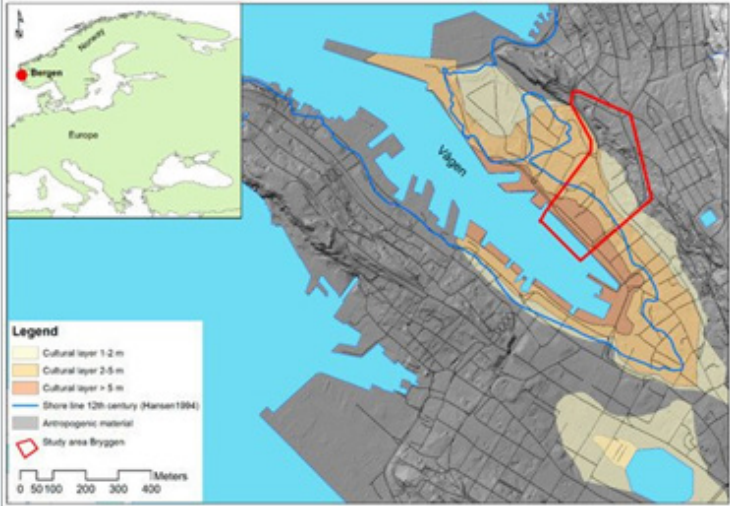


## 16. tabula.

ILŪA risinājumu labie piemēri no dažām valstīm ar Latvijas teritorijai līdzvērtīgiem klimatiskajiem apstākļiem

Nr.p.k.	Projekta vieta un īss raksturojums	Attēls
7	<p><b>A9 šoseja, Nīderlande</b></p> <p>Izbūvētas 6 mitrzemes no autoceļa plūstošo nokrišņu notekūdeņu attīrīšanai. Veģetācijas periodā mitrzemē esošie augi sevi uzņem daļu no smagajiem metāliem un uzkrāj to biomasā, taču būtiski, ka, lai absorbētie smagie metāli atkārtoti nenonāktu vidē, beidzoties veģetācijas sezonai augi ir jānopļauj un jāaizvāc.</p> <p>Avots: <a href="https://climatescan.nl/projects/5299/detail">https://climatescan.nl/projects/5299/detail</a></p>	
8	<p><b>Gdaņska, Polija</b></p> <p>Lietusdārzs Stryjewskiego 13Uzkrāšanas tilpums lietusdārzam 68m<sup>3</sup> un virsmas laukums: 124m<sup>2</sup>, attīrīšana un infiltrācija.</p> <p>Avots: <a href="https://climatescan.nl/projects/4437/detail">https://climatescan.nl/projects/4437/detail</a></p>	

**16. tabula.**  
**ILŪA risinājumu labie piemēri no dažām valstīm ar Latvijas teritorijai līdzvērtīgiem klimatiskajiem apstākļiem**

Nr.p.k.	Projekta vieta un īss raksturojums	Attēls
9	<p><b>Bergena, Norvēģija</b></p> <p>Lietus dārzi Bergēnā, Norvēģijas rietumos ir paredzēti, lai savāktu, noturētu un iefiltrētos lietus notekūdeņu virszemes ūdeņos, papildinātu gruntsūdeņus un papildinātu augsnes mitrumu. Ilgtspējīgas kanalizācijas sistēmas (SuDS), šeit lietus dārzu, hidrauliskā infiltrācijas spēja ir pārbaudīta ar maza mēroga un pilna mēroga infiltrācijas testiem. Rezultāti rāda, ka infiltrācijas spēja atbilst prasībām un ir vairāk nekā pietiekama infiltrācijai aukstā klimatā.</p> <p>Avots: <a href="https://www.mdpi.com/2073-445X/9/12/520">https://www.mdpi.com/2073-445X/9/12/520</a></p>	 <p>The map displays the coastal area of Bergen, Norway, with various cultural layers and a study area highlighted in red. The legend indicates: Cultural layer 1-2 m (light yellow), Cultural layer 2-5 m (orange), Cultural layer &gt; 5 m (dark orange), Shore line 12th-century (Hansen 1994) (blue line), Anthropogenic material (grey), and Study area Bryggen (red outline). A scale bar shows 0, 50, 100, 200, 300, 400 meters. An inset map shows the location of Bergen in Europe.</p>

Izskatot citu valstu pieredzi, var redzēt, ka ILŪA risinājumi labi strādā un var tikt pielietoti arī Baltijas valstīs. Jāpievērš uzmanība pareizu tilpumu aprēķiniem un jāveic pastāvīgs monitorings gruntsūdens kvalitātei ilgtermiņā.

## **5. NODAĻA**

### APSAIMNIEKOŠANA



Magdelēnas kvartāls. ALPS ainavu darbnīca.  
Foto Kaspars Dobrovolskis

Ilgospējīgās lietūs kanalizācijas pārvaldības sistēma attiecas uz dažādām jomām, piemēram, pilsētas ūdenssaimniecību, zemju jeb īpašumu apsaimniekošanu, teritorijas plānošanu un ekoloģiju. Pašlaik pasaulē šie risinājumi galvenokārt tiek skatīti no tehniskā / hidroloģiskā aspekta (Ellis, 2012):

- kā veicina kanalizācijas sistēmu pārplūdes biežuma samazināšanos
- kā veicina notekūdeņu attīrīšanas iekārtu augstāku attīrīšanas efektivitāti
- kā nodrošina gruntsūdeņu dabisko papildināšanu

“Ilgospējīga kanalizācija” ir lietūs ūdens (ieskaitot sniegu un citus nokrišņus) apsaimniekošana tādā nozīmē, ka tai ir jānodrošina piemēroti apstākļi, sekojošu funkciju nodrošināšanai (Flood and Water Management Act, 2010):

- samazinātu plūdu radītos postījumus
- veiktu ūdens kvalitātes uzlabošanu
- nodrošinātu vides aizsardzību un uzlabošanu
- nodrošinātu veselības un drošības aizsardzību
- nodrošinātu meliorācijas sistēmu stabilitāti un izturību

Slikta lietūs ūdens apsaimniekošana ir viens no galvenajiem faktoriem, kas ietekmē ūdensobjektu vides degradāciju un applūšanu lietūs gāžu laikā. Šo faktoru kopumu uzsver Anglijā, ES, Amerikā un Austrālijā. Šajās valstīs ikdienas uzturēšana ilgtspējīgai lietūs kanalizācijas pārvaldības sistēmai ir tāda pati kā konvencionālajai lietūs kanalizācijas sistēmai. Galvenās ir ikdienas aktivitātes lietūs ūdeņu sistēmu apsaimniekošanā ir (Bogaard, Frans u.c., 2008):

- Esošo konstrukciju, būvju inspekcija
- Cauruļvadu skalošana un aku tīrīšana no atkritumiem un gružiem
- Zaļo zonu apkopšana un pļaušana, krūmu koku vainagošana, izciršana
- Grāvju nogāžu profila uzturēšana

## APKOPES PRINCIPI

---

ILŪA ir lietusūdens apsaimniekošanas sistēmas, kuru pamatā ir dabiski hidroloģiski procesi un kurās bieži tiek izmantotas veģetētas zemes virsmas (Woods-Ballard u.c., 2007). Šie komponenti palīdz mazināt plūdu ietekmi, īslaicīgi uzkrājot ūdeni, bieži filtrējot piesārņotājus to rašanās vietā un veicinot lietus ūdens ieplūšanu zemē. Dažādu zaļo risinājumu dizains bieži var būt vērst uz ūdens kvalitātes uzlabošanu un ietekmes mazināšanu visā plūdu ceļā un attālos trieciena punktos, kas atrodas tālāk ūdens sateces baseinā. Lietusdārziem, bioievaikām un citiem zaļajiem risinājumiem ar augiem ir jāievēro vienkārši apsaimniekošanas principi, kas aprakstīti zemāk. (Zuniga-Terran, Staddon u.c., 2019)

Jāseko līdzī augu stāvoklim, pēc nepieciešamības likvidējot slimos augus un novācot augu atmirušās daļas. Kad beigusies veģetācijas sezona, nepieciešams visas atmirušās, nokaltušās virszemes daļas izvākt no dobēm. Ja tas netiek darīts, tad augu atmirušās daļas sadalās uz vietas un tas pasliktina grunts infiltrāciju. Bez tam augos uzkrājušās barības vielas no notekūdeņu piesārņojuma atgriežas atpakaļ vidē un to piesārņo.

Laika gaitā filtrējošās gruntis sablīvējas, augu sakņu atliekas paliek tajās un uzkrājas dažādi biogēnie savienojumi, metāli. Tas ir dabīgs process, bet jāseko tam līdzī – svarīgi veikt ikgadēju monitoringu tuvumā esošās akās, lai sekotu līdzī gruntsūdens kvalitātei. Ja gruntsūdens kvalitāte pasliktinās, tad jāņem kontrolparaugi gruntij un jāpārbauda piesārņojuma līmenis tajos. Pēc nepieciešamības jāparedz grunts nomaiņa, tāpēc ir svarīgi infiltrējošo grunti jau būvniecības laikā nodalīt no pamatnes ar ģeotekstilu.

Līdzīgi jārikojas ar dažādiem caurlaidīgajiem segumiem. Jāveic pastāvīgs monitorings, regulāri jātīra segumi no gružiem, koku lapām, no mašīnu riepām izbīrušām smiltīm. Ja kontrolakās tiek konstatēts

gruntsūdens piesārņojums vai gruntsūdens līmeņa izmaiņas, kas nav raksturīgas meteoroloģiskajiem datiem, tad jāpārbauda segumu infiltrācijas spējas vai jāparedz segumu nomaiņa.

Tas, cik bieži ir jāmaina infiltrācijas gruntis un caurlaidīgie segumi, ir atkarīgs no notekūdeņu piesārņojuma. Lielākie piesārņotāji, kas pasliktina infiltrāciju ir smiltis un suspendētās vielas. Ja konstrukcijas virsējais slānis – segums, spēj tos aizturēt un izsēdināt vaļējos padziļinājumos, tad šos piesārņojumus var mehāniski savākt un utilizēt.

Regulāra apkope ir nepieciešama, lai nodrošinātu, ka plūsma netiek traucēta, tiek novērsta erozija, kā arī augu saknes tur kopā augsni un ir bioloģiski aktīvas. Tā kā apstādījumi palielina vai uztur bioloģisko ūdens savākšanas sistēmu caurlaidību, tad svarīgi regulāri ravēt, apkopt un izvākt atmirušos augus no lietusdārziem un citām konstrukcijām ar veģetāciju (Dagenais, Brisson, Fletcher, 2018).

## INFRASTRUKTŪRAS DARBĪBAS DOKUMENTĒŠANA

Lai ilgtermiņā tiktu nodrošināta ilgtspējīgās lietus kanalizācijas pārvaldības sistēmas netraucēta darbība, nepieciešams izstrādāt rīcības plānus ikdienas apsaimniekošanai, remontiem un avārijas situāciju novēršanai. Šādus apsaimniekošanas plānus un apsekošanas veidlapas ieteicams sastādīt visiem objektiem. Šobrīd pašvaldības iestādes veic apsaimniekošanu pašvaldības zemēs, bet privātīpašumos esošās sistēmas tiek apsaimniekotas no īpašnieku puses. Tā ir katra īpašnieka atbildība kā apsaimniekot lietussūdeņu risinājumus uz savas zemes.

Projektēšanas procesā jāņem vērā sastāvdaļu uzturēšana (piekļuve, atkritumu apsaimniekošana utt.), ieskaitot jebkādu koriģējošu apkopi, lai novērstu defektus vai uzlabotu veiktspēju. Būtu jā sagatavo SuDS (Sustainable Urban Drainage System jeb Ilgtspējīgu lietus ūdeņu apsaimniekošanas (ILŪA) sistēmu) pārvaldības plāns SuDS uzturēšanai. Ražotājam vai projektētājam jāsniedz padomi par apkopi zem zemes esošiem SuDS, piemēram, caurlaidīgai bruģēšanai un moduļu ģeoelementu uzglabāšanai. Tam jāietver ikdienas un ilgtermiņa darbības, kuras var iekļaut apkopes plānā.

Zemāk tabulā sniegts tipisko uzturēšanas prasību sadalījums.

**17. tabula.**  
**Tipisko uzturēšanas prasību sadalījums**  
**(Susdrain community and CIRIA, 2020)**

Aktivitāte	Indikatīvais biežums	Tipiski uzdevumi
Regulāra apkope	Katru mēnesi (normālai SuDS kopšanai)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ pakaišu novākšana</li> <li>■ zāles pļaušana</li> <li>■ ieplūdes, izplūdes un vadības konstrukciju pārbaude.</li> </ul>
Neregulāra apkope	Katru gadu (atkarīgs no dizaina)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ dūņu kontrole ap komponentiem</li> <li>■ veģetācijas apsaimniekošana ap komponentiem</li> <li>■ caurlaidīgo segumu sūkšana un slaucīšana</li> <li>■ dūņu aizvākšana no uzkrāšanās vietām.</li> </ul>
Profilaktiskā apkope	Pēc nepieciešamības (uzdevumi problēmu novēršanai bojājumu vai vandālisma dēļ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ieplūdes / izplūdes vietu remonts</li> <li>■ erozijas remonts</li> <li>■ apmaļu atjaunošana</li> <li>■ atjaunošana pēc piesārņojuma</li> <li>■ uzkrāto dūņu aizvākšana.</li> </ul>

## MONITORINGS

Pēc projektēšanas un būvniecības lielākā daļa pašvaldību pievērš maz uzmanības ilgtspējīgo lietusūdeņu risinājumu pārvaldībai un uzturēšanai, taču ir svarīgi veikt monitoringu. Nepieciešams ieguldīt līdzekļus ikgadējai uzturēšanai, bet to parasti tikko izbūvētajām konstrukcijām aizmirst izdarīt. Praksē apkopi veic tikai tad, ja notiek nelaimes gadījumi (plūdi vai bojājumi). Lai gan SuDS jēdzieni ir plaši izplatīti, tomēr maz ir pieejamas praktiskas zināšanas infiltrācijas sistēmu ekspluatācijā un uzturēšanā (Lemmen, Boogaard u.c., 2008), tāpēc lietderīgi veikt monitoringu, lai jebkurā laikā varētu pārbaudīt sistēmas darbību un uzvedību dažādās klimatiskajās situācijās, dažādos gadalaikos un atrašanās vietās. Piemēram, dīķu, grāvju un ūdens tilpņu brīvais tilpums jeb ūdens līmenis pirms lietus ir galvenais parametrs, kam ir būtiska ietekme, cik ilgi tas spēj uzkrāt un aizturēt pieplūstošos nokrišņus. Ja netiek veikts ikdienas ūdenslīmeņa monitorings, tad pirms intensīvām lietusgāzēm var tikt aizmirsts iztukšot tilpnes, kuras paredzētas nokrišņu uzkrāšanai un tā rezultātā var notikt applūšana. Tāpat svarīgi kontrolēt dažādu piesārņojumu, tai skaitā, metālu koncentrāciju notekūdeņos dažādos gadalaikos (Tuomela, Sillanpää, Koivusalo, 2019).

Aukstajos gada mēnešos, kad ir sasalusi grunts, jārēķinās, ka infiltrācija nestrādā un tad sistēma pilda savas funkcijas vienīgi ar pārplūdes aku palīdzību. Ja šīs pārplūdes akas nebūs darba kārtībā, tad kustošajiem ūdeņiem nebūs kur notecēt un tie uzkrāsies, veidojot lielas peļķes. Ir veikti pētījumi, lai saprastu cik ļoti zaļās sistēmas ietekmē sāls maisījumi, ko izmanto ielu kaisīšanai. Pētījumi vēl turpinās, bet ir konstatēts, ka sāls koncentrācija būtiski neietekmē zaļo sistēmu darbību un tā ir īslaicīga (Søberg, Viklander, Blecken, 2016).



## 6. NODAĻA

### TIPISKĀS KĻŪDAS

Ilgtspējīga lietusūdens pārvaldības sistēma ļauj ūdeņus absorbēt un uzkrāt rašanās vietā, kas nozīmē šo ūdeņu uzkrāšanu, infiltrēšanu, un atvieglo piesārņojuma kontroli. Jāatzīmē ka šī lietus ūdens apsaimniekošanas sistēma sekmīgi strādā daudzās Eiropas pilsētās un iegūst aizvien lielāku popularitāti. Taču ir arī kļūdas un nepilnības ar kurām jārēķinās. Jāatzīmē, ka pētījumi un aprēķini par lietusūdens pārvaldības sistēmām bieži balstās tikai uz finanšu kritērijiem (Stec, Mazur, 2019). Jāņem vērā pilsētu un pašvaldību lietus ūdens sistēmu ilggadīgu darbību un lietotāju ērtības (Tchórzewska u.c., 2019), ir jāņem vērā visi ar to būvniecību un darbību saistītie kritēriji. Svarīgi uzsvērt, ka nepareiza apsaimniekošana un uzturēšana var novest pie negatīvām sekām.

Lai izveidotu pareizu lietusūdens savākšanas sistēmu, ir svarīgi: pareizi aprēķināt lietusūdens noteces apjomu; pareizi aprēķināt un noteikt nepieciešamo cauruļvadu diametru un nepieciešama vieta notekūdeņu novadīšanai ūdenstilpē.

Zemāk ir uzskaitītas visbiežāk pieļautās kļūdas un nepilnības, ko ir pieļāvušas dažādu valstu pašvaldības un pilsētas ieviešot ilgtspējīgos lietusūdeņu risinājumus.

- 1. Zināšanu trūkums par projektēšanas prasībām un vadlīnijām.** Viens no biežākajiem kļūdu iemesliem ir tieši pieredzes un zināšanu trūkums. Ieviešot jaunas lietusūdeņu pārvaldības sistēmas, bieži vien esošo būvnormatīvu aprēķinu metodes neder (Wałęga, Radecki-Pawlik, u.c., 2019).
- 2. Projektēšanas procesā detalizētas sākotnējās informācijas trūkums.** Šeit ir svarīgi iegūt datus par reljefu, gruntsūdeņu

līmeni, gruntīm, nokrišņu daudzumiem, intensitāti un esošo inženierkomunikāciju izvietojumu teritorijā. Ja projektēšanas gaitā tiek pieļautas aprēķinu kļūdas, tas var novest pie nepareizu konstrukciju izvēles, nepietiekamu tilpumu aplēsēm vai nepareizu materiālu izvēles. Visas šīs kļūdas var izraisīt lietusūdeņu pārvaldības sistēmas nespēju strādāt intensīvās lietusgāzēs.

- 3. Tieši tāpat jāņem vērā **ekoloģiskie faktori un bioloģiskā daudzveidība projektējamā teritorijā.**** Biotopu un ekoloģisko faktoru neizvērtēšana var novest pie esošo biotopu iznīcināšanas un nepareizas lietusūdeņu pārvaldības sistēmas režīma uzturēšanas, kas savukārt var izjaukt ekoloģisko vidi objektā. Piemēram, teritorija ilgus gadus ir meliorēta un tagad pārveidojot sistēmu, šī drenāža netiek ievērtēta.
- 4. Slikta būvniecības prakse,** pieredzes trūkums, izbūvējot ilgtspējīgu lietusūdeņu sistēmu, ieskaitot grunts un izejmateriālu izvēle un izbūve, kā rezultātā izsēdušās nogulsnes un citas piesārņojošās vielas piesārņo caurlaidīgo virsmu - tas ietver infiltrējošo gultnes pārpildīšanu (Lemmen, Boogaard u.c., 2008).
- 5. Nepareiza konstrukcijas izvēle vai izpildījums.** Jāveic dažādu infiltrējošu segumu analīze atbilstošos klimatiskajos apstākļos, jo katrā valstī ir savādāki klimatiskie apstākļi, grunts sastāvs, gruntsūdens līmenis, kas var ietekmēt infiltrāciju ilgtermiņā (Boogaard, Lucke un Beecham, 2014).
- 6. Nenostiprinātas nogāzes,** kā rezultātā intensīvu lietusgāžu ietekmē notiek nogāžu erozija, izskalojas drenējošā grunts infiltrācijas laukiem un lietusdārziem, kā rezultātā tiek piesārņota apkārtējā vide un samazinās caurlaidīgo virsmu veiktspēja. Nepieciešams pielietot nogāžu nostiprināšanas pasākumus.

7. **Infiltrācijas lauku nenodališana no apkārtējās grunts** var izraisīt grunšu sajaukšanos, kas ilgtermiņā veicina veģetācijas augšanu, samazina grunšu filtrāciju un var veicināt gruntsūdeņu līmeņa pieaugšanu. Nepieciešams pielietot norobežojošus filtrējošus ģeosintētiskos materiālus.
8. **Nepareiza ieplūdes/izplūdes konstrukcija.** Tā var izraisīt pārāk strauju ūdens plūsmu vai tieši pretēji appludināt teritoriju. Ja lietusdārzs, infiltrācijas lauki vai ievalkas atrodas augstāk par ieplūdes vietu, tas noved pie blakus teritorijas applūšanas un piesārņošanas. Nepareiza ieplūdes un izplūdes konstrukcija (pārāk tuvu viens otram) var izraisīt lietusūdeņu pārplūdi pa tiešo bez attīrīšanas iespējām.
9. Trūkst izskaidrojoši materiāli par ilgtspējīgu lietusūdeņu sistēmu darbību un drošumu, kā rezultātā ap dīkiem, infiltrācijas laukiem, lietusdārziem u.c. konstrukcijām  **tiek paredzēti žogi un citi norobežojumi, apgrūtinot apsaimniekošanu.**
10. Izbūvēto ilgtspējīgo lietusūdeņu pārvaldības sistēmu **nepareiza apsaimniekošana vai vispār neapsaimniekošana.** Tai skaitā privātās sistēmas un pašvaldības sistēmas. Ja ilgstoši netiek iztīrītas uztvērējiskas vai biodīķi, lietusdārzi un dīķi no atmirušajiem augiem, tas var novest pie veiktspējas samazināšanās, applūšanas.
11. **Ja netiek regulāri monitorēti piesārņojuma līmeņi** un mainīti filtri, tas var izraisīt apkārtējās vides piesārņošanu. Lietderīgi noslēgt apsaimniekošanas līgumu ar sertificētiem apsaimniekošanas uzņēmumiem, kuri regulāri veikt objektu tīrīšanu, apsaimniekošanu un nepieciešamības gadījumā arī remontu. Ieteicams pie šiem objektiem ierīkot kameras vai citus ātrās paziņošanas instrumentus, kas ātri fiksētu avāriju draudus un ziņotu par tiem apsaimniekošanas uzņēmumam.
12. **Īpašnieku un apsaimniekošanas uzņēmumu izpratnes trūkums par ilgtspējīgo lietusūdeņu pārvaldības sistēmu mērķi / funkciju un uzturēšanas prasībām.** Līdz ar to bieži notiek tā, ka pēc objekta izbūves, neviens vairs par to nerūpējas. Trūkst dokumentācijas par izbūvēto objektu, specifikāciju trūkums, nav saglabāti rasējumi, konstrukciju detalizācijas. Nav izstrādāti apsaimniekošanas noteikumi, uzrādīti darba ūdens līmeņi, un maksimālie ūdens līmeņi, gruntsūdens līmeņi. Svarīgs aspekts ir arī sabiedrības attieksme pret individuālu risinājumu ieviešanu (Carriquiry, Sauri, March, 2020).
13. **Slikta veģetācijas sugu izvēle.** Izvēlēti apvidum neraksturīgi augi, kas nav piemēroti šādam klimatam vai nespēj izturēt krāsas ūdeņu svārstības, pilsētu piesārņojumu un citi iemesli (Ansaf, Mohamed, Lucke un Boogaard, 2013).
14. **Nepareiza vietas izvēle lietusūdeņu savākšanas sistēmas izbūvei.** To atrašanās vieta atbilstošās vietās ir svarīgs veids, kā pielāgot pilsētas sateces baseinus gaidāmajām klimata izmaiņām (Kazak, Chruscinski un Szewranski, 2018). Ilgtspējīgas lietusūdens apsaimniekošanas sistēmas var izmantot gan esošajās, gan nesen izbūvētajās infrastruktūrās, lai gan atsevišķu ierīču un konstrukciju izbūves un izmantošanas iespējas ir ierobežotas, galvenokārt telpas dēļ.
15. **Nespēja identificēt kritērijus labāko ilgtspējīgo lietusūdeņu risinājumu izvēlei.** Parasti ietver kritērijus, kas tieši saistīti ar lietusūdens apsaimniekošanas sistēmas būvniecību un darbību (ekonomisko, ekspluatācijas, hidraulisko, tehnisko un lokālo), bet tiek aizmirsts par estētiskajām vērtībām un sociālajiem un vides aspektiem (Wałęga, Radecki-Pawlik u.c., 2019).

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- Allen, R.G., et al., 1998. [Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements-FAO irrigation and drainage paper 56](#). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 300 (9), D05109.
- Alloway, B. J., & Jackson, A. P. (1991). [The behaviour of heavy metals in sewage sludge-amended soils](#). *Science of the Total Environment*, 100, 151-176.
- Andoh, R.Y.G., & Declerck, C. (1999). [Source control and distributed storage—a cost effective approach to urban drainage in the new millennium](#). The 8th International Conference on Urban Storm Drainage, Sydney, Australia (pp. 1319-1326).
- Andrews, H. O. (Andy) un Lampe, L. K. (2005) [“Post-Project Monitoring of BMPs/SUDS to Determine Performance and Whole-Life Costs”](#), no *Proceedings of the Water Environment Federation*. Water Environment Federation. doi: 10.2175/193864705783866405.
- Ansaf, M., Mohamed, K., Lucke, T. un Boogaard, F.C. (2013). [Using swales to pre-treat stormwater runoff and prolong the effective life of permeable pavement systems](#). NOVATECH
- Aronsson, M., & Stevović, S. (2015). [Family Asteraceae as a sustainable planning tool in phytoremediation and its relevance in urban areas](#). *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(4), 782-789.
- Atchison, D., Potter, K., & Severson, L. (2006). [Design guidelines for stormwater bioretention facilities](#). University of Wisconsin Water Resources Institute Publication WIS-WRI-06-01.
- Bäckström, M. (2003) [“Grassed swales for stormwater pollution control during rain and snowmelt”](#), no *Water Science and Technology*. IWA Publishing, lpp. 123–132. doi: 10.2166/wst.2003.0508.
- Bäckström, M., Viklander, M. un Malmqvist, P. A. (2006) [“Transport of stormwater pollutants through a roadside grassed swale”](#), *Urban Water Journal*, 3(2), lpp. 55–67. doi: 10.1080/15730620600855985.
- Barrett, M. u.c. (2012) [“Post Project Monitoring of BMPs/SUDS to Determine Performance and Whole Life Cost”](#), *Proceedings of the Water Environment Federation*. Water Environment Federation, 2003(12), lpp. 745–756. doi: 10.2175/193864703784755256.
- Barrett, M., Lantin, A. un Austrheim-Smith, S. (2004) [“Storm water pollutant removal in roadside vegetated buffer strips”](#), no *Transportation Research Record*. National Research Council, lpp. 129–140. doi: 10.3141/1890-16.
- Beckett, K. P., Freer-Smith, P. H., & Taylor, G. (1998). [Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution](#). *Environmental pollution*, 99(3), 347-360.
- Blecken, G. T., Zinger, Y., Muthanna, T. M., Deletic, A., Fletcher, T. D. un Viklander, M. (2007). [The influence of temperature on nutrient treatment efficiency in stormwater biofilter systems](#). *Water Science and Technology*, 56(10), 83-91.
- Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). [Ecosystem services in urban areas](#). *Ecological economics*, 29(2), 293-301.
- Bonan, G. B. (2008). [Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests](#). *Science*, 320(5882), 1444-1449.
- Boogaard, F.C., Frans, H. M. Van de Ven, Bert Palsma (2008). [Guidelines for the design & construction and operation of SUDS](#).
- Boogaard, F.C., Lucke, T. un Beecham, S. (2014). [Effect of Age of Permeable Pavements on Their Infiltration Function](#).
- Boogaard, F.C. u.c. (2014) [“Lessons Learned From Over Two Decades of Global Swale Use”](#), no *Evaluation of long term efficiency of SuDS, Nature-based solutions and WSUD*.
- Boogaard, F.u.c. (2014) [“Stormwater Quality Characteristics in \(Dutch\) Urban Areas and Performance of Settlement Basins”](#), *Challenges*, 5, lpp. 112–122. doi: 10.3390/challe5010112.
- Brodsky, O. L., Shek, K. L., Dinwiddie, D., Bruner, S. G., Gill, A. S., Hoch, J. M., ... & McGuire, K.L. (2019). [Microbial communities in bioswale soils and their relationships to soil properties, plant species, and plant physiology](#). *Frontiers in Microbiology*, 10.
- [Brownfields to Greenfields, 2011. A Field Guide to Phytoremediation](#). New York: youarethecity
- Caltrans (2003) [Final Report Roadside Vegetated Treatment Sites \(RVTS\) Study](#).

Caraco, D. un Claytor, R. (1997). *Stormwater bmp design supplement for coldclimates*. Technical report, The Center for Watershed Protection, Ellicott City, Maryland.

Carleton, J. N. u.c. (2001) "Factors affecting the performance of stormwater treatment wetlands", *Water Research*. Elsevier Ltd, 35(6), lpp. 1552–1562. doi: 10.1016/S0043-1354(00)00416-4.

Carriquiry, A.N., Sauri, D. un March, H. (2020). *Community Involvement in the Implementation of Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS): The Case of Bon Pastor, Barcelona, Sustainability*.

Charlesworth, S. M. u.c. (2012) "Laboratory based experiments to assess the use of green and food based compost to improve water quality in a Sustainable Drainage (SUDS) device such as a swale", *Science of the Total Environment*. Elsevier, 424, lpp. 337–343. doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.02.075.

Charlesworth, S. M. un Booth, C. A. (2016) *Sustainable Surface Water Management: A Handbook for SUDS*, *Sustainable Surface Water Management: A Handbook for SUDS*. doi: 10.1002/9781118897690.

Chaudhry, Q., Blom-Zandstra, M., Gupta, K.S., Joner, E., 2005. *Utilising the synergy between plants and rhizosphere microorganisms to enhance breakdown of organic pollutants in the environment* (15 pp). *Environ. Sci. Pollut. Res.* 12 (1), 34–48.

Clary, J. u.c. (2017) Final Report. *International Stormwater BMP Database*. 2016 Summary Statistics.

CleanTech Latvia sadarbibā ar Latvijas vides aizsardzības fondu (2019). "Normatīvā regulējuma apskats un priekšlikumi tā izmaiņām lietus ūdens apsaimniekošanas jomā", Rīga.

Coombes, P.J., & Kuczera, G. (2000). *Nikinba Ridge Fletcher: A comparison between WSUD and traditional approaches*. Research Report for Newcastle City Council. Department of Civil, Surveying and Environmental Engineering, University of Newcastle.

Coombes, P.J., Kuczera, G., Kalma, J.D. & Argue, J.R. (2002). *An evaluation of the benefits of source control measures at the regional scale*. *Urban water*, 4, 307-320.

Dadea, C., Russo, A., Tagliavini, M., Mimmo, T., & Zerbe, S. (2017). *Tree species as tools for biomonitoring and phytoremediation in urban environments: a review with special regard to heavy metals*. *Arboriculture & Urban Forestry*, 43(4), 155-167.

Dagenais, D., Brisson, J., un Fletcher, T. D. (2018). *The role of plants in bioretention systems; does the science underpin current guidance?* *Ecological Engineering*, 120, 532-545.

Daily, G. (eds.). (1997). *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Island Press.

Davis, A.P., Shokouhian, M., Sharma, H., Minami, C., 2001. *Laboratory study of biological retention for urban stormwater management*. *Water Environ. Res.* 73 (1), 5–14.

Deletic, A. (2005) "Sediment transport in urban runoff over grassed areas", *Journal of Hydrology*. Elsevier, 301(1–4), lpp. 108–122. doi: 10.1016/j.jhydrol.2004.06.023.

Department of Planning and Local Government (2010) *Water Sensitive Urban Design Technical Manual for the Greater Adelaide Region*. Government of South Australia, Adelaide.

Dimitriou, I., & Aronsson, P. (2005). *Willows for energy and phytoremediation in Sweden*. *UNASYLVA-FAO-*, 56(2), 47.

Ding, X. R., un Passeur, E. (2017). *Bioretention cells under cold climate conditions: the effect of freezing and thawing on water infiltration and nutrient removal*.

Dunnett, N. & Clayden, A. (2007). *Rain gardens, managing water sustainably in the garden and designed landscape*. London, Timber Press.

Durand, C. u.c. (2004) "Characterization of the organic matter of sludge: Determination of lipids, hydrocarbons and PAHs from road retention/infiltration ponds in France", *Environmental Pollution*. Elsevier, 132(3), lpp. 375–384. doi: 10.1016/j.envpol.2004.05.038.

Dylewski, K. L., Wright, A. N., Tilt, K. M., & LeBleu, C. (2011). *Effects of short interval cyclic flooding on growth and survival of three native shrubs*. *HortTechnology*, 21(4), 461-465.

Eke, P. E. un Scholz, M. (2008) "Benzene removal with vertical-flow constructed

treatment wetlands”, Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 83(1), lpp. 55–63. doi: 10.1002/jctb.1778.

Ellis, J.B. (2012) Sustainable surface water management and green infrastructure in UK urban catchment planning, Journal of Environmental Planning and Management, Vol. 56, lpp. 24–41, <https://doi.org/10.1080/09640568.2011.648752>

Ellis, J. B. u.c. (2003) “Constructed Wetlands and Links with Sustainable Drainage Systems.”, Bristol: Environment Agency, lpp. 190.

Fang, C. F., & Ling, D. L. (2005). Guidance for noise reduction provided by tree belts. Landscape and urban planning, 71(1), 29–34.

Fardel, A. u.c. (2019) “Analysis of swale factors implicated in pollutant removal efficiency using a swale database”, Environmental Science and Pollution Research. Environmental Science and Pollution Research, 26(2), lpp. 1287–1302. doi: 10.1007/s11356-018-3522-9.

FAWB (2008) Advancing the design of stormwater biofiltration, Facility for Advancing Water Biofiltration.

Fletcher, T. D. u.c. (2002) “The Performance of Vegetated Swales for Urban Stormwater Pollution Control”, no Global Solutions for Urban Drainage. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, lpp. 1–16. doi: 10.1061/40644(2002)51.

Flood and Water Management Act, UK Public General Acts 2010 c. 29

Gamfeldt, L., Hillebrand, H., Jonsson, P.R., 2008. Multiple functions increase the importance of biodiversity for overall ecosystem functioning. Ecology 89 (5), 1223–1231.

Géhéniau, N., Fuamba, M., Mahaut, V., Gendron, M. R. un Dugué, M. (2015). Monitoring of a rain garden in cold climate: case study of a parking lot near Montreal. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 141(6), 04014073

Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. Built Environment 33(1), 115–133.

Goh, H.W., Zakaria, N.A., Lau, T.L., Foo, K.Y., Chang, C.K., Leow, C.S., 2017. Mesocosm study of enhanced bioretention media in treating nutrient rich stormwater for mixed development area. Urban Water J. 14 (2), 134–142.

Gonzalez-Meler, M. A. u.c. (2013) “The Environmental and Ecological Benefits of Green Infrastructure for Stormwater Runoff in Urban Areas”, JSM Environ Sci Ecol, 1(2), lpp. 1018.

Gonzalez-Merchan, C., Barraud, S., and Bedell, J.P., 2014. Influence of spontaneous vegetation in stormwater infiltration system clogging. Environmental Science and Pollution Research, 21 (8), 5419–5426.

Henderson, C., Greenway, M. and Phillips, I. (2007). Removal of dissolved nitrogen, phosphorus and carbon from stormwater by biofiltration mesocosms. Water Sci. Technol., 55(4), 183–191.

Hanze University of Applied Sciences. (2020). ClimateScan platforma. Pieejams: <https://www.climatescan.nl/> Atsauce tekstā (ClimateScan, 2020)

Hatt, B.E., Siriwardene, N., Deletic, A. and Fletcher, T.D. (2006). Filter media for stormwater treatment and recycling: the influence of hydraulic properties of flow on pollutant removal. Water Sci. Technol., 54(6–7), 263–271.

Hitchmough, J., & Wagner, M. (2011). Slug grazing effects on seedling and adult life stages of North American Prairie plants used in designed urban landscapes. Urban Ecosystem, 14, 297–302.

Hitchmough, J. (2020). The wild as inspiration for designed urban plantings. Lekcijas materiāls no Šelfildas Universitātes

Horowitz, A. J. (2009) “Monitoring suspended sediments and associated chemical constituents in urban environments: Lessons from the city of Atlanta, Georgia, USA water quality monitoring program”, Journal of Soils and Sediments, 9(4), lpp. 342–363. doi: 10.1007/s11368-009-0092-y.

Hsieh, C. H., un Davis, A. P. (2005). Evaluation and optimization of bioretention media for treatment of urban storm water runoff. Journal of Environmental Engineering, 131(11), 1521–1531.

Hunt, W.F., et al., 2006. Evaluating bioretention hydrology and nutrient removal at three sites in North Carolina. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 132 (6), 600–608.

Jefferies, C. un Napier, F. (2008) Source control pollution in sustainable drainage:

final report. Scotland and Northern Ireland Forum for Environmental Research (SNIFFER).

Jennings, A.A., Berger, M.A., and Hale, J.D., 2015. [Hydraulic and hydrologic performance of residential rain gardens](#). *Journal of Environmental Engineering*.

Johnston MR (2011) [Vegetation type alters rain garden hydrology through changes to soil porosity and evapotranspiration](#). Ph.D. diss. Univ. of Wisconsin, Madison

Kamath, R., Rentz, J.A., Schnoor, J.L., Alvarez, P.J.J., 2004. Chapter 16 [Phytoremediation of hydrocarbon-contaminated soils: principles and applications](#). In: In: Rafael, V.-D., Rodolfo, Q.-R. (Eds.), *Studies in Surface Science and Catalysis* Vol. 151. Elsevier, pp. 447–478.

Kazak, J.K., Chruscinski, J., Szewranski, S. (2018). [The Development of a Novel Decision Support System for the Location of Green Infrastructure for Stormwater Management](#). *Sustainability*.

Kennen K., Kirkwood N., 2015. [Phyto: Principles and Resources for Site Remediation and Landscape Design](#). United Kingdom, Routledge

Kingsbury, N. (2004). [Contemporary overview of naturalistic planting design](#), cited In: *The Dynamic Landscape*. PP. 58-96. London: Spon Press.

Kuhn, Y., & Frevert, D.K. (2010). [Water-sensitive design: An integral piece of ecological sustainable development](#). In: *Innovations in Watershed Management under Land Use and Climate Change*. Proceedings of the 2010 Watershed Management Conference, Madison, Wisconsin, USA, 23-27 August 2010. (pp. 838-849). American Society of Civil Engineers (ASCE).

Lange, K., Viklander, M., & Blecken, G. T. (2020). [Effects of plant species and traits on metal treatment and phytoextraction in stormwater bioretention](#). *Journal of Environmental Management*, 276, 111282.

Langeveld, J. G., Liefting, H. J. un Boogaard, F. C. (2012) "[Uncertainties of stormwater characteristics and removal rates of stormwater treatment facilities: Implications for stormwater handling](#)", *Water Research*. Elsevier Ltd, 46(20), Ipp. 6868–6880. doi: 10.1016/j.watres.2012.06.001.

Lavelle, P., Rodríguez, N., Arguello, O., Bernal, J., Botero, C., Chaparro, P., & Fonte,

S. J. (2014). [Soil ecosystem services and land use in the rapidly changing Orinoco River Basin of Colombia](#). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 185, 106-117.

Le Coustumer, S., Fletcher, T.D., Deletic, A., Barraud, S., Poelsma, P., 2012. [The influence of design parameters on clogging of stormwater biofilters: a large-scale column study](#). *Water Res.* 46 (20), 6743–6752.

Lee, B.-H. and Scholz, M. (2007). [What is the role of Phragmites australis in experimental constructed wetland filters treating urban runoff?](#) *Ecol. Eng.*, 29(1), 87–95.

Lee, J., Pak, G., Yoo, C., Kim, S. & Yoon, J. (2010). [Effects of land use change and water reuse options on urban water cycle](#). *Journal of Environmental Sciences* 22(6), 923–928.

LeFevre, G. H., Hozalski, R. M. un Novak, P. J. (2012) "[The role of biodegradation in limiting the accumulation of petroleum hydrocarbons in raingarden soils](#)", *Water Research*. Elsevier Ltd, 46(20), Ipp. 6753–6762. doi: 10.1016/j.watres.2011.12.040.

Lemmen G., Boogaard, F.C., Schipper P., Wentink R. (2008). [Maintenance of SUDS, the Netherlands](#).

Lhomme-Duchadeuil, A. (2018). [Urban naturalistic meadows to promote cultural and regulating ecosystem services](#) (Doctoral dissertation, University of Sheffield).

Liang, M.-Q., Zhang, C.-F., Peng, C.-L., Lai, Z.-L., Chen, D.-F., Chen, Z.-H., 2011. [Plant growth, community structure, and nutrient removal in monoculture and mixed constructed wetlands](#). *Ecol. Eng.* 37 (2), 309–316.

Line, D. E. u.c. (2008) "[Evaluating the Effectiveness of Two Stormwater Wetlands in North Carolina](#)", no American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting 2008, ASABE 2008. American Society of Agricultural and Biological Engineers, Ipp. 1347–1360. doi: 10.13031/2013.24393.

Liu, W., Chen, W., Feng, Q., Peng, C., & Kang, P. (2016). [Cost-benefit analysis of green infrastructures on community stormwater reduction and utilization: a case of Beijing, China](#). *Environmental management*, 58(6), 1015-1026.

Lundholm, J., et al., 2010. [Plant species and functional group combinations affect green roof ecosystem functions](#). *PLoS ONE*, 5 (3), e9677.



Malmqvist, P.A. (1978). [Atmospheric fallout and street cleaning - effects on urban storm water and snow](#). *Progress in Water Technology*, 10(5/6):495–505.

Marsalek, J. (1991). [Urban drainage in cold climate: problems, solutions and research needs](#). In *Proceedings of International Conference on Urban Drainage and New Technologies (UDT)*, Dubrovnik, Yugoslavia.

McCallum, M.H., et al., 2004. [Improved subsoil macroporosity following perennial pastures](#). *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 44, 299–307.

Melece, L. un Shena, I. (2019). [Climate change adaptation policy: issues in Latvia](#). 10.22616/ERDev2019.18.N247.

Millennium Ecosystem Assessment. (2005). [Ecosystems and Human Well-Being. Synthesis](#). A Report of the Millennium Ecosystem Assessment. Island Press, Washington.

Mooney, H., Larigauderie, A., Cesario, M., Elmquist, T., Hoegh-Guldberg, O., Lavorel, S., & Yahara, T. (2009). [Biodiversity, climate change, and ecosystem services](#). *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1(1), 46–54.

Müller, A. u.c. (2020) [“The pollution conveyed by urban runoff: A review of sources”](#), *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., lpp. 136125. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.136125.

Muthanna, T.M., Viklander, M., Blecken, G., Thorolfsson, S.T., 2007a. [Snowmelt pollutant removal in bioretention areas](#). *Water Res.* 41 (18), 4061–4072.

Muthanna, T.M., Viklander, M., Gjesdahl, N., Thorolfsson, S.T., 2007b. [Heavy metal removal in cold climate bioretention](#). *Water Air Soil Pollut.* 183 (1–4), 391–402.

Nagase, A. and Dunnett, N., 2012. [Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: Effects of plant species, diversity and plant structure](#). *Landscape and urban Planning*, 104, 356–363.

Nelson, R. S., McGinnis, E. E., & Daigh, A. L. (2018). [Rain Garden Sedges Tolerate Cyclical Flooding and Drought](#). *HortScience*, 53(11), 1669–1676.

Nilsen un Bjørgum (2001). [Hva sliter trondheim kom-mune med mht. urban avrenning](#). presentation available at [www.hydrologiraadet.no/overvannnilsen.pdf](http://www.hydrologiraadet.no/overvannnilsen.pdf). Presentation given in Norwegian at meeting (Stormwater technology in

Norway New challenges) in *Norsk Hydrologi*’ ad and NORVAR.

Nocco, M. A., Rouse, S. E., un Balster, N. J. (2016). [Vegetation type alters water and nitrogen budgets in a controlled, replicated experiment on residential-sized rain gardens planted with prairie, shrub, and turfgrass](#). *Urban Ecosystems*, 19(4), 1665–1691.

Novotny, V., Smith, D., Kuemmel, D., Mastriano, J., un Bartosova, A. (1999). [Urban and highway snowmelt: Minimizing the impact on receiving water](#). Technical Report 94-IRM-2, The Water Environment Research Federation, Alexandria, Virginia.

Nowak, D. J., Crane, D. E., & Stevens, J. C. (2006). [Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States](#). *Urban Forestry & Urban Greening*, 4(3), 115–123.

Oberts, G. (1994). [Influence of snowmelt dynamics on stormwater runoff quality](#). *Watershed Protection Techniques*, 1(2):55–61.

Payne, E.G.I., Fletcher, T.D., Cook, P.L.M., Deletic, A., Hatt, B.E., 2013. [Processes and drivers of nitrogen removal in stormwater biofiltration](#). *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*

Payne, E.G.I. u.c. (2014). [“Temporary Storage or Permanent Removal? The Division of Nitrogen between Biotic Assimilation and Denitrification in Stormwater Biofiltration Systems”](#), *PLoS ONE*. Sagatavoja M.-J. Virolle. Public Library of Science, 9(3), lpp. e90890. doi: 10.1371/journal.pone.0090890.

Rakoczy, J. u.c. (2011) [“A bench-scale constructed wetland as a model to characterize benzene biodegradation processes in freshwater wetlands”](#), *Environmental Science and Technology*. American Chemical Society, 45(23), lpp. 10036–10044. doi: 10.1021/es2026196.

Raskin, I., Smith, R. D., & Salt, D. E. (1997). [Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment](#). *Current opinion in biotechnology*, 8(2), 221–226.

Restemeyer, B. Boogaard, F.C. (2021). [Potentials and Pitfalls of Mapping Nature-Based Solutions with the Online Citizen Science Platform ClimateScan](#). *Land* 2021, 10 (1), 5; <https://doi.org/10.3390/land10010005>

Rixen, C. and Mulder, C.P.H., 2005. Improved the water retention links high species richness with increased productivity in arctic tundra moss communities. *Oecologia*, 146 (2), 287–299.

Sæbø, A., Popek, R., Nawrot, B., Hanslin, H. M., Gawronska, H., & Gawronski, S. W. (2012). Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Science of the Total Environment*, 427, 347-354.

Scholes, L., Revitt, D. M. un Ellis, J. B. (2008) “A systematic approach for the comparative assessment of stormwater pollutant removal potentials”, *Journal of Environmental Management*, 88(3), lpp. 467–478. doi: 10.1016/j.jenvman.2007.03.003.

Schröter, D., Cramer, W., Leemans, R., Prentice, I. C., Araújo, M. B., Arnell, N. W., & Zierl, B. (2005). Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science*, 310(5752), 1333-1337.

Sheoran, A., 2006. Performance of three aquatic plant species in bench-scale acid mine drainage wetland test cells. *Mine Water Environ.* 25 (1), 23–36.

Shrestha, P., Salzi, M. T., Jimenez, I. J., Pradhan, N., Hay, M., Wallace, H. R. un Small, G. E. (2019). Efficacy of Spent Lime as a Soil Amendment for Nutrient Retention in Bioretention Green Stormwater Infrastructure. *Water*, 11(8), 1575.

Singh, R., Paul, D. un Jain, R. K. (2006). “Biofilms: implications in bioremediation”, *Trends in Microbiology*. Elsevier Current Trends, lpp. 389–397. doi: 10.1016/j.tim.2006.07.001.

SIA “Grupa93” (2017) *Lietusūdens pārvaldības procesu un resursu nodrošinājuma analīze Rīgas pilsētas pašvaldībā un priekšlikumi integrētas lietusūdens pārvaldības ieviešanai*.

Søberg, L. C., Hedström, A., Blecken, G. T., & Viklander, M. (2014). Metal uptake in three different plant species used for cold climate biofilter systems. In 13th International Conference on Urban Drainage, Sarawak, Malaysia (pp. 7-12).

Søberg, L. C., Viklander, M., Blecken G. T. (2016). Do salt and low temperature impair metal treatment in stormwater bioretention cells with or without a submerged zone? *Urban Water*, Luleå University of Technology, 97187 Luleå, Sweden, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.179>

Stec, A., Mazur, A. (2019). *An Analysis of Eco-Technology Allowing Water and Energy Saving in an Environmentally Friendly House - A Case Study from Poland*. Buildings.

Stefanakis, A. I. (red.) (2018). *Constructed Wetlands for Industrial Wastewater Treatment*, *Constructed Wetlands for Industrial Wastewater Treatment*. Hoboken, USA: John Wiley & Sons, Ltd.

Steiner, L.M., & Domm, R.W. (2012). *Rain gardens: sustainable landscaping for a beautiful yard and a healthy world*. Minneapolis: Voyageur Press.

StormTac Database (2020) Updated database (v. 2020-11-26). Pieejams: [http://www.stormtac.com/?page\\_id=143](http://www.stormtac.com/?page_id=143) (Skatīts: 2020. gada 13. decembrī).

Sukias, J., Yates, C. un Tanner, C. C. (2011) *Floating islands for upgrading sewage treatment ponds*.

Sun, X., Davis, A.P., 2007. Heavy metal fates in laboratory bioretention systems. *Chemosphere* 66 (9), 1601–1609.

Susarla, S., Medina V. F., McCutcheon S. C., 2002. *Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination*. *Ecological Engineering*. 18, 647–658.

Susdrain community and CIRIA. (2020). *Adoption & maintenance of SuDS*. Pieejams: <https://www.susdrain.org/delivering-suds/using-suds/adoption-and-maintenance-of-suds/maintenance/index.html> Atsauce tekstā (Susdrain community and CIRIA, 2020)

Tchórzewska-Cieślak, B., Pietrucha-Urbanik, K. un Papciak, D. (2019). *An Approach to Estimating Water Quality Changes in Water Distribution Systems Using Fault Tree Analysis*.

Tuomela, C., Sillanpää, N., Koivusalo, H. (2019). *Assessment of stormwater pollutant loads and source area contributions with storm water management model (SWMM)*. Department of Built Environment, Aalto University School of Engineering, Aalto, Finland

Ulrich, R. S. (1986). *Human responses to vegetation and landscapes*. *Landscape and urban planning*, 13, 29-44.

Valls, M. un de Lorenzo, V. (2002) “Exploiting the genetic and biochemical capacities

of bacteria for the remediation of heavy metal pollution”, FEMS Microbiology Reviews. Oxford University Press (OUP), 26(4), lpp. 327–338. doi: 10.1111/j.1574-6976.2002.tb00618.x.

Venvik, G. un Boogaard, F. C. (2019) “New Quickscan method for prevention of groundwater pollution through stormwater infiltration, XRF as new quick scan method to map heavy metals in Dutch sustainable urban drainage systems”, no.

Venvik, G. un Boogaard, F. C. (2020) “Infiltration capacity of rain gardens using full-scale test method: Effect of infiltration system on groundwater levels in Bergen, Norway”, Land, 9, 1–18. doi.org/10.3390/land9120520

Virahsawmy, H., et al., 2014. Factors that affect the hydraulic performance of raingardens: implications for design and maintenance. Water Science & Technology, 69 (5), 982–988.

Vorenhout, M. un Boogaard, F. C. (2016) “Redox potential dynamics in a grassed swale used for storage and treatment”, no. Geophysical Research Abstracts.

Walker, C. un Lucke, T. (2016) “Treating runoff in the construction and operational phases of a greenfield development using floating wetland treatment systems”, August

Water. People. Places. A guide for master planning sustainable drainage into developments (2013).

Wałęga, A., Radecki-Pawlik, A., Cupak, A., Hathaway, J. un Pukowicz, M. (2019). Influence of Changes of Catchment Permeability and Frequency of Rainfall on Critical Storm Duration in an Urbanized Catchment - A Case Study, Cracow, Poland

Woods-Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R. and Shaffer, P. (2007) SUDS rokasgrāmata. CIRIA C697. Londona, Būvniecības rūpniecības pētījumu un informācijas asociācija

Woods Ballard, B. u.c. (2015) The SuDS Manual. C753F red. London: CIRIA.

Yang, H., Dick, W. A., McCoy, E. L., Phelan, P. L., & Grewal, P. S. (2013). Field evaluation of a new biphasic rain garden for stormwater flow management and pollutant removal. Ecological Engineering, 54, 22-31.

Yuan, J. (2016). Investigating the planting potential for urban rain gardens: plant

selection, establishment and performance (Doctoral dissertation, University of Sheffield).

Yuan, J., Dunnett, N., & Stovin, V. (2017). The influence of vegetation on rain garden hydrological performance. Urban Water Journal, 14(10), 1083-1089.

Yunusa, I.A.M. and Newton, P.J., 2003. Plants for amelioration of subsoil constraints and hydrological control: the primer-plant concept. Plant and Soil, 257 (2), 261–281.

Zhang, C.-B., Wang, J., Liu, W.-L., Zhu, S.-X., Liu, D., Chang, S.X., et al., 2010. Effects of plant diversity on nutrient retention and enzyme activities in a full-scale constructed wetland. Bioresour. Technol. 101 (6), 1686–1692.

Zuniga-Teran, A. A., Chad, S., de Vito, L., Gerlak, K. A., Ward, S., Schoeman, Y., Hart, A. & Booth, G. (2019) Challenges of mainstreaming green infrastructure in built environment professions. Journal of Environmental Planning and Management, Vol. 63, 710-732

