

BỘ XÂY DỰNG

**HƯỚNG DẪN KỸ THUẬT THU GOM,
SỬ DỤNG NƯỚC MƯA VÀ THOÁT NƯỚC MƯA
ĐÔ THỊ THEO HƯỚNG BỀN VỮNG**

**ĐƠN VỊ THỰC HIỆN: VIỆN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
MÔI TRƯỜNG, TRƯỜNG ĐẠI HỌC
XÂY DỰNG HÀ NỘI**

**CHỦ TRÌ BIÊN SOẠN: GS.TS. NGUYỄN VIỆT ANH
VÀ CÁC CỘNG TÁC VIÊN**

HÀ NỘI - 12/2023

BỘ XÂY DỰNG

HƯỚNG DẪN KỸ THUẬT THU GOM, SỬ DỤNG NƯỚC MƯA VÀ THOÁT NƯỚC MƯA ĐÔ THỊ THEO HƯỚNG BỀN VỮNG

ĐƠN VỊ THỰC HIỆN: VIỆN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
MÔI TRƯỜNG, TRƯỜNG ĐẠI HỌC
XÂY DỰNG HÀ NỘI

CHỦ TRÌ BIÊN SOẠN: GS.TS. NGUYỄN VIỆT ANH

THAM GIA:

TS. NGUYỄN PHƯƠNG THẢO

TS. BÙI THỊ THỦY

TS. ĐÀO ANH DŨNG

THS. TRẦN HOÀI SƠN

THS. NGUYỄN VIỆT ANH

TS. ĐINH VIỆT CƯỜNG

NCV. NGUYỄN VIỆT MINH

THS. TRẦN QUANG TRUNG

TS. NGUYỄN LAN HƯƠNG

TS. NGUYỄN THANH THỦY

TS. NGUYỄN ĐỨC CẢNH

THS. TRẦN CƯỜNG

THS. NGUYỄN TRÀ MY

THS. TRẦN QUANG TRUNG

THS. PHẠM VÂN QUỲNH

THS. LÊ TRỌNG BẰNG

GS. TS. MOOYOUNG HAN

(VÀ CÁC CTV)

HÀ NỘI - 12/2023

MỤC LỤC

MỤC LỤC	iii
DANH MỤC THUẬT NGỮ VIẾT TẮT	vi
DANH SÁCH CÁN BỘ THAM GIA THỰC HIỆN CHÍNH.....	vii
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ SỬ DỤNG NƯỚC MƯA.....	1
1.1. Vai trò của nước mưa với đời sống con người	1
1.1.1. Nước mưa tham gia vào chu trình thủy văn	1
1.1.2. Nước mưa trong cấp nước sinh hoạt	1
1.1.3. Nước mưa trong sản xuất nông nghiệp	4
1.1.4. Nước mưa trong bổ cập nước ngầm	7
1.2. Thu gom và sử dụng nước mưa tại Nhật Bản.....	9
1.3. Thu gom và sử dụng nước mưa tại Hàn Quốc.....	11
1.4. Thu gom và sử dụng nước mưa tại Trung Quốc.....	13
1.5. Thu gom và sử dụng nước mưa tại khu vực Đông Nam Á.....	15
1.6. Thu gom và sử dụng nước mưa tại Úc.....	17
1.7. Thu gom và sử dụng nước mưa tại Châu Âu	18
1.8. Thu gom và sử dụng nước mưa tại Việt Nam.....	19
1.8.1. Truyền thống sử dụng nước mưa ở Việt Nam	19
1.8.2. Biến đổi khí hậu và vai trò của sử dụng nước mưa tại Việt Nam.....	22
1.9. Một số dự án thu gom, tái sử dụng nước mưa ở Việt Nam	23
1.9.1. Thu gom nước mưa để cấp nước ăn uống, sinh hoạt	23
1.9.2. Nước mưa cho công trình công cộng	26
1.9.3. Thu nước mưa để cấp nước tưới và bổ cập nguồn nước ngầm	35
CHƯƠNG 2. THIẾT KẾ, LẮP ĐẶT, VẬN HÀNH VÀ BẢO DƯỠNG HỆ THỐNG THU GOM NƯỚC MƯA ĐỂ CẤP NƯỚC CHO SINH HOẠT VÀ ĂN UỐNG	37
2.1. Thiết kế, lắp đặt hệ thống thu gom nước mưa	37
2.1.1. Thành phần, chức năng các bộ phận thu gom nước mưa	37
2.1.2. Các sơ đồ hệ thống thu gom và sử dụng nước mưa	37
2.1.3. Thiết kế định hình các bộ phận trong hệ thống nước mưa	42
<i>Tính toán dung tích bể chứa nước mưa cho mục đích ăn uống</i>	<i>54</i>
2.1.3. Thi công lắp đặt hệ thống nước mưa	62
2.2. Vận hành và bảo dưỡng hệ thống thu gom nước mưa	63

2.3.	Kiểm soát chất lượng nước mưa	63
2.3.1.	So sánh chất lượng nước giữa nước mặt, nước ngầm và nước mưa	64
2.3.2.	Các chất ô nhiễm trong hệ thống nước mưa	65
2.3.3.	Loại bỏ các chất ô nhiễm mục tiêu trong hệ thống nước mưa	66
2.2.	Mái nhà xanh	78
2.2.1.	Giới thiệu chung	78
2.2.2.	Cấu trúc của mái nhà xanh và tính toán thiết kế.....	84
2.2.3.	Thu gom nước mưa trong các mái nhà xanh	87
CHƯƠNG 3. QUẢN LÝ THU GOM, SỬ DỤNG NƯỚC MƯA.....		89
4.4.	Những rào cản, thách thức khi thực hiện thu gom nước mưa	89
4.5.	Giải pháp về mặt chính sách	91
4.6.	Giải pháp khắc phục khó khăn về tài chính	96
4.7.	Khía cạnh xã hội, các phương tiện truyền thông.....	97
4.8.	Vai trò của chính quyền địa phương trong việc quản lý nước mưa.....	98
4.9.	Chuyển đổi số và ứng dụng trong quản lý, sử dụng nước mưa	99
4.9.1.	Quan trắc, giám sát hệ thống thu nước mưa	99
4.9.2.	Ứng dụng công nghệ thông tin trong thu gom, sử dụng nước mưa.....	101
4.10.	Mô hình mô phỏng hệ thống nước mưa đa mục tiêu	105
4.10.1.	Hệ thống cấp nước kép	105
4.10.2.	Các mô hình thủy lực mô phỏng bể thu gom nước mưa đa năng: R-D; R-S-D; R-S-P-D; R-S-U-D; R-S-I-D; R-S-U-I-D	106
CHƯƠNG 4. THOÁT NƯỚC ĐÔ THỊ BỀN VỮNG		109
4.1.	Thoát nước đô thị bền vững	109
4.1.1.	Phương thức tiếp cận	109
4.1.2.	Các giải pháp kiểm soát nước mưa	111
4.1.3.	Nguyên tắc lựa chọn các giải pháp SUDS.....	130
4.2.	Một số dự án thoát nước mưa bền vững ở Việt Nam	133
4.2.1.	<i>Hầm ngầm nước mưa chống ngập tại trường THCS Lý Thường Kiệt, Hà Nội</i>	133
4.2.2.	<i>Dự án thí điểm bể điều tiết nước mưa bằng công nghệ Crosswave ở TP. Hồ Chí Minh</i>	133
4.2.3.	<i>Quản lý nước mưa ở Thành phố Hải Phòng.....</i>	135
4.2.4.	<i>Dự án thí điểm SUDS ở thành phố Quảng Ngãi</i>	136
4.2.5.	<i>Dự án SUDS ở thành phố Cà Mau.....</i>	136

4.2.6.	<i>Dự án SUDS ở thành phố Sóc Trăng</i>	137
4.3.	Tính toán thiết kế các công trình kiểm soát nước mưa cục bộ:	139
4.3.1.	Một số yêu cầu chung:	139
4.3.2.	Tính toán lưu lượng chảy vào công trình thấm.....	140
4.4.	Tính toán thiết kế hệ thống thoát nước mưa.....	163
4.4.1.	Quan điểm tính toán	163
4.4.2.	Các phương pháp tính toán thiết kế thoát nước mưa.....	164
4.4.1.	Phương pháp tính toán thoát nước mưa theo I-D-F.....	169
4.5.	Ứng dụng mô hình mô phỏng trong tính toán thiết kế hệ thống thoát nước mưa 178	
4.4.2.	Giới thiệu chung	178
4.4.3.	Mô hình dòng chảy trong cống một chiều (1D).....	179
4.4.4.	Mô hình kết hợp dòng chảy trong cống một chiều và chảy tràn một chiều (1D-1D)	181
4.4.5.	Mô hình kết hợp dòng chảy trong cống một chiều và chảy tràn hai chiều (1D-2D)	185
4.4.6.	So sánh các mô hình tính toán thoát nước mưa.....	187
4.5.	Ứng dụng phần mềm SWMM để tính toán thoát nước mưa.....	188
4.5.2.	Giới thiệu phần mềm SWMM.....	188
4.5.3.	Khả năng của phần mềm SWMM.....	189
4.5.4.	Các thuật toán của SWMM.....	189
4.6.	Ứng dụng phần mềm MIKE để tính toán thoát nước mưa	190
4.6.1.	Nguyên tắc chung	190
4.6.2.	Phần mềm MIKE FLOOD	193
	Chuẩn bị số liệu đầu vào	195
	Thiết lập mô hình	195
4.7.	Đề xuất phương pháp tính toán thiết kế thoát nước mưa	196
4.7.1.	<i>Các bất cập trong tính toán hệ thống thoát nước mưa hiện nay</i>	196
4.7.2.	<i>Đề xuất quy trình tính toán thoát nước mưa</i>	197
	TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	199

DANH MỤC THUẬT NGỮ VIẾT TẮT

STT	Ký hiệu	Giải thích ký hiệu
1	BĐKH	Biến đổi khí hậu
2	BTCT	Bê tông cốt thép
3	CP	Cổ phần
4	CSSX	Cơ sở sản xuất
5	CTR	Chất thải rắn
6	IDF	Cường độ - thời gian – tần suất
7	IESE	Viện Khoa học và Kỹ thuật môi trường
8	KCN	Khu công nghiệp
9	LID	Phát triển ít tác động
10	MLTN	Mạng lưới thoát nước
11	NM	Nhà máy
12	NT	Nước thải
13	P	Chu kỳ lặp lại trận mưa tính toán
14	QCVN	Quy chuẩn Việt Nam
15	RCP	Kịch bản nồng độ khí nhà kính đại diện (Representative Concentration Pathways)
16	SUDS	Thoát nước (mưa) bền vững
17	TB	Trạm bơm
18	TCVN	Tiêu chuẩn Việt Nam
19	TNHH	Trách nhiệm hữu hạn
20	TXLNT	Trạm xử lý nước thải
21	UBND	Ủy ban nhân dân
22	XLNT	Xử lý nước thải

DANH SÁCH CÁN BỘ THAM GIA THỰC HIỆN CHÍNH

STT	Họ và tên	Học hàm, học vị	Đơn vị công tác
1	Nguyễn Việt Anh	GS.TS	Viện Khoa học và Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
2	Nguyễn Phương Thảo	TS	Viện Khoa học và Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
3	Trần Hoài Sơn	ThS	Viện Khoa học và Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
4	Đào Anh Dũng	TS	Viện Khoa học và Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
5	Đinh Viết Cường	TS	Viện Khoa học và Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
6	Bùi Thị Thủy	TS	Trường Đại học Thủy lợi
7	Lê Trọng Bằng	ThS	Viện Khoa học và Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
8	Nguyễn Việt Anh	ThS	Viện Khoa học và Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
9	Nguyễn Việt Minh	NCV	Viện Khoa học và Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
10	Nguyễn Lan Hương	TS	Viện Khoa học và Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
11	Nguyễn Thanh Thủy	TS	Trường Đại học Thủy lợi
12	Nguyễn Đức Cảnh	TS	ĐHQG Seoul, Hàn Quốc
13	Trần Cường	ThS	Công ty Thoát nước Hannover
14	Trần Quang Trung	ThS	Công ty CP Nước & Môi trường Việt Nam
15	Phạm Vân Quỳnh	ThS	Công ty CP Nước & Môi trường Việt Nam
16	Han Mooyoung	GS.TS	ĐHQG Seoul, Hàn Quốc

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ SỬ DỤNG NƯỚC MƯA

1.1. Vai trò của nước mưa với đời sống con người

1.1.1. Nước mưa tham gia vào chu trình thủy văn

Trong chu trình tuần hoàn của nước, nước mưa đóng vai trò vô cùng quan trọng, kết nối đại dương, đất liền và khí quyển. Vòng tuần hoàn của nước cho thấy sự chuyển động liên tục của nước trong Trái đất và khí quyển và là một hệ thống phức tạp bao gồm nhiều quy trình khác nhau. Nước bốc hơi từ biển, hồ, mặt đất, cây cỏ lên trên cao, gặp không khí lạnh tạo thành mưa rơi xuống mặt đất, thấm xuống nguồn nước ngầm hoặc lưu lại sông, hồ và cung cấp cho hoạt động của con người. Biết nơi mưa, lượng mưa và đặc điểm của mưa rơi, tuyết hoặc mưa đá cho phép các nhà khoa học hiểu rõ hơn về tác động của lượng mưa đối với suối, sông, dòng chảy bề mặt và nước ngầm. Các phép đo chi tiết và thường xuyên giúp các nhà khoa học tạo mô hình và xác định những thay đổi trong chu trình nước của Trái đất. Nếu quản lý tốt nguồn nước mưa, chúng ta sẽ có một lượng nước quý báu để bổ sung cho nguồn nước ngầm, tiết kiệm nước phải khai thác từ các dòng sông và trong lòng đất, đồng thời giảm úng ngập do tránh được nước mưa tập trung nhanh trong thành phố.



Hình 1.1. Sự tham gia của nước mưa vào chu trình thủy văn trên Trái đất

1.1.2. Nước mưa trong cấp nước sinh hoạt

Trong nhiều thế kỷ, con người đã dựa vào việc thu gom nước mưa để cung cấp nước cho các mục đích sử dụng trong sinh hoạt. Có thể nói nước mưa là nguồn nước cấp quan trọng, không thể thay thế được cho rất nhiều khu vực dân cư trên Thế giới. Trước khi các hệ thống cấp nước tập trung lớn ra đời, nước mưa được thu gom từ các mái nhà và được lưu trữ tại chỗ trong các bể chứa. Sự ra đời và phát triển mạnh mẽ của các hệ thống cấp nước tập trung đã làm giảm đáng kể các hoạt động thu gom nước mưa trong các hộ gia đình. Ngoài ra, do các vấn đề ô nhiễm môi trường không khí làm cho chất lượng nước mưa ngày càng xấu đi cũng là một nguyên nhân làm giảm các hoạt động thu gom và sử dụng nước mưa trong sinh hoạt.

Một số bằng chứng cổ sinh vật học gần đây cho thấy mối tương quan chặt chẽ giữa việc xây dựng các hệ thống thu gom nước mưa và khả năng thích ứng với biến đổi khí hậu, đặc biệt

là với hiện tượng hạn hán. Các phản ứng của con người đã cung cấp những bằng chứng thiết thực nhất về vai trò của nước mưa trong thích ứng với biến đổi khí hậu¹. Qua hàng ngàn năm lịch sử, con người sống ở nhiều khu vực khác nhau đã xây dựng và phát triển các hệ thống thu trữ nước mưa đa dạng nhằm thích ứng với biến đổi khí hậu và nhiều phương pháp thu trữ nước mưa vẫn được tiếp tục áp dụng trong thời đại ngày nay. Một số bằng chứng khảo cổ cho thấy thu gom và lưu trữ nước mưa được xem là giải pháp cấp nước chính cho mùa khô của người Maya. Việc sử dụng nước mưa trong nông nghiệp giúp duy trì ổn định chuỗi thức ăn và hệ sinh thái tại các khu vực khô cằn.



Hình 1.2. Chultun, giếng thu và trữ nước mưa làm nguồn cấp nước cho người Maya ở Yucatán, Mexico²

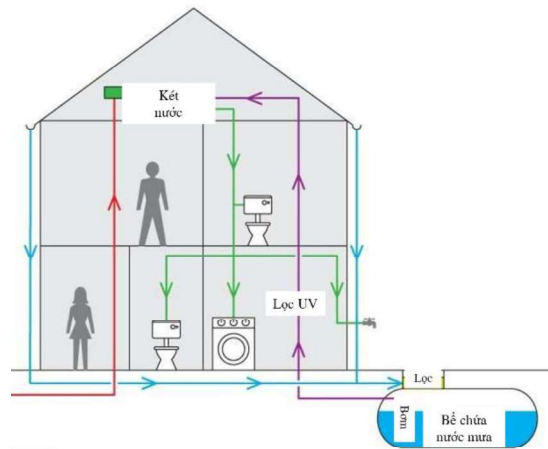
Hiện nay, vấn đề về khan hiếm nguồn nước sạch đang ngày càng trở nên nghiêm trọng, các hoạt động thu gom, xử lý và sử dụng nước mưa làm nước cấp đang được khuyến khích. Giải pháp thu gom nước mưa làm nước cấp cho sinh hoạt được coi là một giải pháp thuận tự nhiên, tốn ít chi phí, cung cấp nguồn nước ngọt quý báu cho các hoạt động sống của con người. Sử dụng nước mưa có thể giảm hóa đơn tiền nước, cung cấp một nguồn nước uống sạch không clo, và giảm chi phí cơ sở hạ tầng, đồng thời góp phần giảm úng ngập khu dân cư. Cơ hội cho việc thu gom và sử dụng nước mưa thay đổi tùy thuộc từng địa điểm: các hộ gia đình đô thị đã đấu nối vào hệ thống cấp nước tập trung, trong khi các hộ gia đình nông thôn thường có nguồn nước riêng. Có thể thấy rằng việc sử dụng nước mưa trong cấp nước sinh hoạt có tính bền vững và giảm áp lực cho các hệ thống cấp nước tập trung. Nhiều báo cáo chỉ ra rằng, việc thu gom

¹ Pandey, Deep & Gupta, Anil & Anderson, David. (2003). Rainwater Harvesting as an Adaptation to Climate Change. Current Science. 85.

² Maestri N, 2019, Understanding Ancient Maya Storage Systems. <https://www.thoughtco.com/chultun-ancient-maya-storage-systems-171589>

và sử dụng nước mưa cho mục đích sinh hoạt trong các tòa nhà có thể giúp tiết kiệm khoảng 40% nước uống và trong các văn phòng có thể giúp tiết kiệm tới 87% nước sinh hoạt³⁴⁵.

Hoạt động thu gom, xử lý và sử dụng nước mưa được thực hiện ở rất nhiều khu vực trên Thế giới, đặc biệt là tại các khu vực khô hạn hoặc chịu tác động của khan hiếm nguồn nước. Nước mưa sau khi được thu gom và lưu trữ sẽ được xử lý thích hợp để sử dụng cho các mục đích như tắm rửa, giặt giũ, dội toa-lét, tưới vườn và ở mức độ cao hơn có thể dùng làm nước ăn uống.



Hình 1.3. Sơ đồ hệ thống thu gom và sử dụng nước mưa trong sinh hoạt



Hình 1.4. Bể chứa nước mưa cấp nước sinh hoạt trong các hộ gia đình ở Rwanda

(Rieck C, 2011)

³ Hajani and Rahman, 2014

⁴ Muthukumaran et al. (2011)

⁵ Ward và cộng sự. (2012)



Hình 1.5. Bể chứa nước mưa làm nước cấp cho các điểm công cộng tại California (Mỹ)

(Estormwater.com)



Hình 1.6. Bể chứa nước mưa để cấp nước sinh hoạt tại Ohio (Mỹ)

(4perfectwater.com)

1.1.3. Nước mưa trong sản xuất nông nghiệp

Trong bối cảnh khan hiếm nguồn nước cho nông nghiệp, thu hoạch nước mưa là một giải pháp thay thế đầy hứa hẹn đã được các chuyên ngành nghiên cứu trong những năm gần đây. Theo ước tính, để đáp ứng nhu cầu lương thực vào năm 2050, sản lượng lương thực thế giới phải tăng 70%⁶; điều này có nghĩa là mức tiêu thụ tài nguyên nước trên toàn cầu tăng lên 53%^{7,8}. Ngày càng nhiều khu vực trên khắp thế giới đang phải đối mặt với tình trạng thiếu nước trầm trọng. Tài nguyên nước đang bị suy thoái nghiêm trọng do nhiều yếu tố, chẳng hạn

⁶ Wu, W.; Ma, B. Integrated nutrient management (INM) for sustaining crop productivity and reducing environmental impact: A review. *Sci. Total Environ.* 2015, 512–513, 415–427.

⁷ De Fraiture, C.; Wichelns, D. Satisfying future water demands for agriculture. *Agric. Water Manag.* 2010, 97, 502–511

⁸ Fischer, G.; Tubiello, F.N.; van Velthuisen, H.; Wiberg, D.A. Climate change impacts on irrigation water requirements: Effects of mitigation, 1990–2080. *Technol. Forecast. Soc.* 2007, 74, 1083–1107

như hậu quả của biến đổi khí hậu toàn cầu, dân số tăng nhanh, thay đổi sử dụng đất, mở rộng nông nghiệp và đô thị, nhu cầu sử dụng nước của các ngành sản xuất tăng lên, sự suy giảm chất lượng nước do khai thác quá mức, khan hiếm nước mưa, tốc độ bốc hơi cao và khô cằn do nhiệt độ tăng^{9, 10}.

Ở các khu vực nông thôn, đặc biệt ở các nước có nền kinh tế mới nổi hoặc kém phát triển, sự phát triển kinh tế phụ thuộc chủ yếu vào nông nghiệp; do đó, việc quản lý nguồn nước sử dụng làm nước tưới cây, lương thực, thực phẩm càng được chú trọng. Thu gom nước mưa để làm nước tưới được đề xuất như một giải pháp để giải quyết tình trạng khan hiếm nguồn nước dùng trong nông nghiệp.

Thu gom nước mưa để sử dụng trong nông nghiệp có tính truyền thống ở khắp nơi trên Thế giới, đặc biệt là ở các vùng khô hạn và bán sơn địa. Nước mưa có thể được sử dụng để tưới bổ sung, đặc biệt là trong thời kỳ sinh trưởng của cây trồng. Nước mưa được thu gom từ các lưu vực mái hứng thích hợp, sau đó được lưu trữ và làm nguồn cấp nước tưới cho khu vực canh tác nông nghiệp.



*Hình 1.7. Ao chứa nước mưa sử dụng trong nông nghiệp phổ biến ở các nước Đông Nam Á¹¹
(1: Thu nước mưa từ bề mặt và ao; 2: Ao chứa nước mưa; 3: Nước mưa được sử dụng cho ruộng lúa)*

⁹ Liu, J.; Wang, Y.; Yu, Z.; Cao, X.; Tian, L.; Sun, S.; Wu, P. A comprehensive analysis of blue water scarcity from the production, consumption, and water transfer perspectives. *Ecol. Indic.* 2017, 72, 870–880

¹⁰ Fiaz, S.; Noor, M.A.; Aldosri, F.A. Achieving food security in the Kingdom of Saudi Arabia through innovation: Potential role of agricultural extension. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* 2018, 17, 365–375.

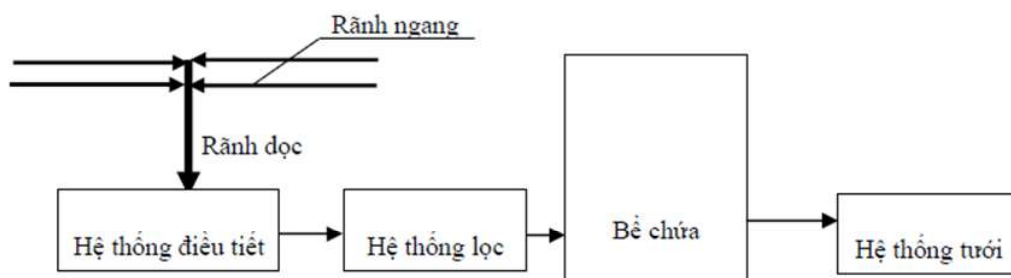
¹¹ Rozaki Z, Senge M, Yoshiyama K and Komariah. Feasibility and adoption of rainwater harvesting by farmers. *Reviews in Agricultural Science*, 5:56-64, 2017.



Hình 1.8. Đập ngăn để trữ nước mưa ở Ấn Độ¹²

Hiệu quả mô hình phụ thuộc vào đặc điểm của đất canh tác, loại cây trồng và chất lượng nước mưa thu gom (giá trị dinh dưỡng của nước mưa: ni-tơ, phốt-pho). Để sử dụng cho mục đích này, nước mưa thường được lưu trữ tại các hồ chứa hoặc hệ thống kênh mương hoặc được thấm qua các bề mặt đất sử dụng trong nông nghiệp.

Hiện nay, tại các vùng đồi núi của nước ta, hệ thống công trình thủy lợi với đặc trưng hầu hết là các công trình nhỏ mới chỉ đáp ứng được một phần nhu cầu nước cho phát triển nông nghiệp. Thay cho việc để dòng chảy tràn gây xói mòn, nước mưa được thu gom, trữ lại và sử dụng để tưới cây lương thực, cung cấp thực phẩm. Nước mưa có thể được thu gom từ các bãi đất bằng hoặc trên sườn thoải tới 5%. Trên địa hình bằng phẳng (độ dốc 0-1%), người ta xây dựng các bờ ngăn, đập chắn để giữ nước. Kiểu thu gom nước mưa này được áp dụng nhiều ở Ấn Độ, Mỹ, hoặc ở khu vực Châu Phi. Nước mưa còn được thu gom theo các đường phân thủy, với các bờ đắp cao khoảng 0,40m, khoảng cách giữa chúng 2 đến 20m. Khu vực dẫn nước cần được làm sạch cỏ và đầm chặt. Có thể trồng cây lương thực trong rãnh, dọc sườn hoặc trên mặt bờ đắp, từ ngô, đậu, cây ăn quả, ... Viện Khoa học thủy lợi cũng đã đề xuất mô hình thu gom nước mưa sử dụng trong tưới tiêu cho vùng nông nghiệp trên đất dốc. Đặc biệt, cách lưu trữ nước mưa này còn có tác dụng chống xói mòn, giảm nguy cơ lũ, sạt lở hiệu quả.



Hình 1.9. Mô hình thu gom nước mưa sử dụng trong tưới tiêu

(Viện Khoa học Thủy lợi, 2011)

¹² <https://georainwaterboard.org/>

Hệ thống thu gom nước mưa có bề mặt mái thu nhỏ: Nước mưa được thu gom từ vùng lưu vực nhỏ và được giữ lại tại đáy của vùng thấm ngay bên cạnh. Vùng thấm này có thể trồng các loại cây đơn, cây bụi hoặc các loại cây trồng vụ mùa. Ưu điểm của hệ thống thu trữ nước lưu vực nhỏ là:

- Thiết kế đơn giản và dễ lắp đặt, vì vậy dễ dàng thích ứng và lắp lại thực nghiệm.
- Hệ số dòng chảy cao hơn so với hệ thống thu trữ nước quy mô vừa và nhỏ; không mất thời gian vận chuyển.
- Kiểm soát xói mòn
- Có thể thực hiện trên hầu hết độ dốc, cả ở nơi bằng phẳng.

Hệ thống thu gom nước mưa có bề mặt mái thu trung bình (diện tích mái thu vài trăm m² đến hàng trăm ha): Nước mưa được thu gom và lưu trữ tại các hồ chứa, sau đó kết nối với hệ thống tưới nông nghiệp.

Thu trữ nước lưu vực lớn: Hệ thống thu trữ nước lưu vực lớn gồm các hệ thống có lưu vực rộng hàng km², nước từ đó chảy vào các con kênh, sau đó được kết nối với hệ thống tưới cho vùng đất canh tác.

Việc sử dụng nước mưa làm nước tưới có những ưu điểm nổi bật:

- Đảm bảo lượng nước tưới trong nông nghiệp hoặc tích trữ nước cho mùa khô hạn trong quá trình canh tác nông nghiệp;
- Tăng năng suất cây trồng, thích ứng với biến đổi khí hậu;
- Đơn giản, dễ vận hành, chi phí đầu tư thấp;
- Giúp kiểm soát xói mòn, ngăn ngừa thoái hóa đất.

Tuy nhiên, việc thiết kế hệ thống nước mưa để sử dụng trong nông nghiệp vẫn có một số rào cản sau:

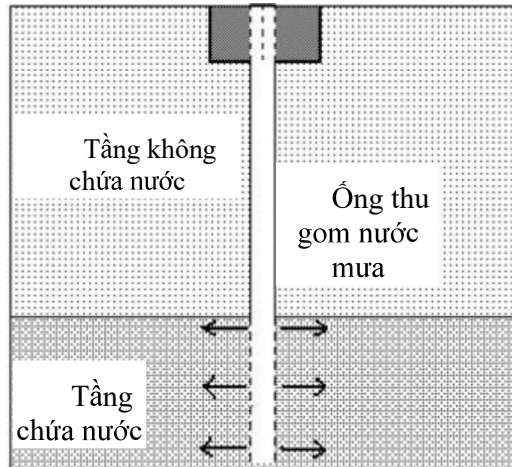
- Việc thiết kế mô hình phụ thuộc nhiều vào lượng mưa và chế độ mưa;
- Hệ thống có thể bị hư hỏng khi gặp bão, hỏa hoạn;
- Cần bảo trì hệ thống thường xuyên;
- Phụ thuộc vào đặc thù của địa phương.

1.1.4. Nước mưa trong bổ cập nước ngầm

Thu gom và lưu trữ nước mưa sẽ làm giảm hoặc ngăn chặn hiện tượng sụt lún đất do khai thác nước ngầm quá mức, do đó sẽ bổ sung nguồn nước ngầm. Ngoài ra, việc thu gom nước mưa còn là phương án khả thi để bảo vệ nguồn nước ngầm khỏi sự sụt giảm về mặt trữ lượng và giảm hiện tượng khai thác nước ngầm, cung cấp cho các hệ thống cấp nước tập trung. Dòng chảy tràn bề mặt nếu được thu gom và ngấm xuống lòng đất sẽ giúp khôi phục lại nguồn nước dưới đất đang bị khô cạn, ngăn chặn hiện tượng lún sụt, làm cây cối tươi tốt và giữ ẩm cho đất. Các phương tiện giúp nước mưa có thể thấm xuống đất bao gồm các con mương, vũng nước, rãnh hào, giếng, vỉa hè và các bề mặt thấm nước. Các con mương, vũng nước và vỉa hè

chỉ áp dụng cho các khu gia đình đơn lẻ. Nước mưa chảy theo ống dẫn để đưa vào một con mương hoặc vũng nước và thấm từ từ vào trong đất (Murase và nnk. 1995).

Không chỉ nước mưa chảy tràn từ bể chứa mà cả nước mưa đã được sử dụng cho các mục đích như rửa xe, giặt quần áo, lau chùi, làm mát cũng nên được đưa trở lại vào lòng đất. Đây là cách thức hoàn trả dần dần nước cho các vùng dưới lòng đất ở xung quanh. Nước thấm qua đất sẽ thúc đẩy quá trình tái nạp lại và tiết kiệm nước dưới đất, làm cho cây trồng tươi tốt, và kiểm soát hiện tượng đảo nhiệt độ thị. Sử dụng nước mưa, làm cho nước mưa thấm xuống lòng đất, khôi phục nguồn nước ngầm và làm cây cối tăng trưởng là những quá trình gắn kết chặt chẽ với nhau.



Hình 1.10. Ví dụ về thu gom nước mưa cho mục đích bổ cập nước ngầm

(Nguồn: Indiawaterportal.org)



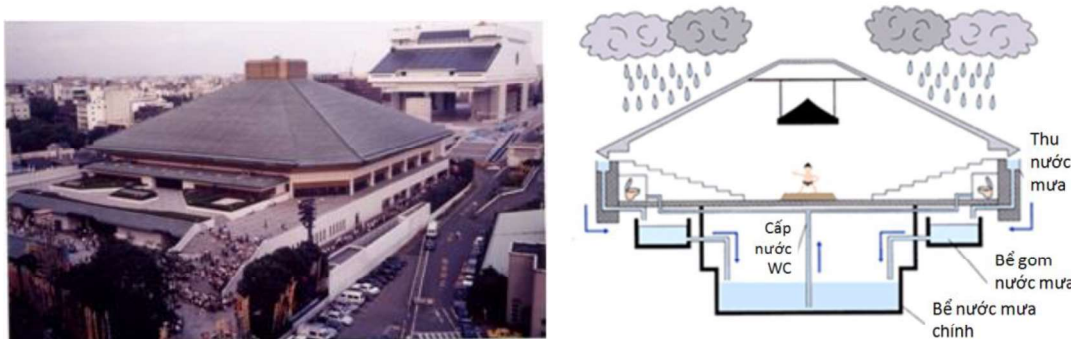
Hình 1.11. Thu gom nước mưa để bổ cập giếng nước ngầm mạch nông và bơm cấp nước tưới ở Ấn Độ¹³

Tại miền Nam nước Úc, nhiều dự án về thu nước mưa nhằm bổ sung nguồn nước ngầm đã được thực hiện và mang lại kết quả khả quan. Nước mưa thu từ một lưu vực được chuyển đến một khu vực đầm lầy hay đất ngập nước, tích trữ trong một tầng ngậm nước và sau đó được sử dụng làm nước cấp. Phương pháp này góp phần hữu hiệu trong chống lún sụt đất và suy thoái nguồn nước ngầm.

¹³ <https://georainwaterboard.org/>

1.2. Thu gom và sử dụng nước mưa tại Nhật Bản

Nước Nhật đã tổ chức hội nghị quốc tế về sử dụng nước mưa để cứu trái đất vào tháng 8-1994 tại thành phố Sumida, Tokyo để tất cả các nước đến học tập và họ đã rất thành công với các giải pháp, 100 phương pháp sử dụng nước mưa để chống thiếu nước, chống nóng và giảm ngập lụt cho các thành phố, họ đã đưa ra lý thuyết về sử dụng nước mưa là trách nhiệm của toàn thể giới gắn liền với “Phát triển bền vững” các thành phố từ những năm 1994.



Hình 1.12. Bể thu nước mưa từ Nhà thi đấu sumo ở Nhật Bản¹⁴

Tại quận Ichitera-Kototoi thuộc thành phố Sumida, một bể chứa ngầm với dung lượng tối đa 10m³ với bơm tay đã được lắp đặt trên đường phố Roji để lưu trữ nước mưa. Nguồn nước này được dùng để tưới cây và được xem như hệ thống chứa nước mưa cho cộng đồng để dùng trong trường hợp khẩn cấp. Ngoài ra, những bể chứa lớn sơn màu đỏ tía có lắp vòi ở trước cửa các căn nhà cũng được lắp đặt nhằm thu gom và tái sử dụng nước mưa cho mục đích sinh hoạt tại khu vực này (Murase và nnk. 1995).

Ở Nhật Bản, Jizo được coi là tượng thần nước mưa, vừa đóng vai trò như một thiết bị đo mực nước và lại vừa là biểu tượng khuyến khích cho việc sử dụng nước mưa. Đây là một thiết bị sử dụng lực đẩy của nước (sức nổi): khi nước mưa đầy trong bể chứa thì bức tượng thần nước mưa sẽ nhô lên trên mặt đất, và khi nước được bơm ra ngoài hoặc bị ngấm một phần vào đất thì bức tượng này sẽ bị lún dần xuống đất. Khi bức tượng này tụt xuống đến đáy thì ta chỉ có thể nhìn thấy phần chòm của nó là cái mũ. Những bức tượng Jizo trước đây rất phổ biến ở Nhật Bản (Murase và nnk. 1995).

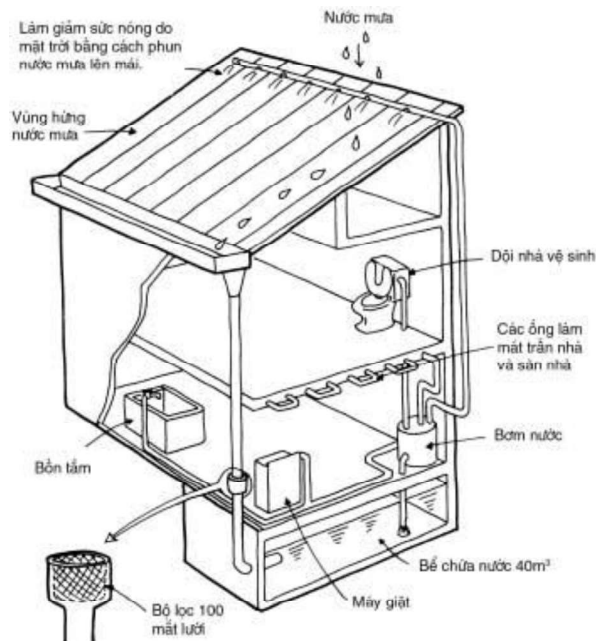
Tại các khu chung cư, tập thể; nước mưa cũng được thu gom và tái sử dụng cho mục đích sinh hoạt. Nước mưa từ trên mái nhà của chung cư hay khu tập thể được thu và phân tách nhờ thiết bị đặc biệt trên đường ống dẫn từ các máng nước của mái nhà hoặc ban công. Đây là một thiết bị hình tròn, có độ rộng phù hợp để đặt bên trong ống máng tại các khớp nối (hình 4.2). Phần lớn nước mưa đổ dọc theo đường ống và bị phân tách bằng vòng được đặt tại điểm khớp nối này và chảy qua một ống nối khác để vào bể chứa. Nước mưa sẽ liên tục chảy vào bể chứa cho đến khi đầy. Như vậy, tất cả các hộ gia đình đều có thể chứa nước mưa chứ không phải chỉ riêng các hộ ở tầng trên cùng.

¹⁴ Furumai H. (2012). Significance of rainwater and reclaimed water as urban water resource for sustainable use. University of Tokyo.

Tại Nhật Bản, các bức tường cũng có thể là các công cụ hứng nước mưa. Người ta thiết kế các xê-nô thu nước đặt ngay dưới tầng 1 của tòa nhà để hứng nước mưa từ các bức tường thẳng đứng. Lượng nước mưa thu gom được từ mặt tường thẳng đứng của tòa nhà ước chừng khoảng 50% so với lượng nước thu được từ bề mặt mái nằm ngang có diện tích tương đương. Nhưng có một báo cáo cho rằng thực tế chỉ đạt được 7%. Nhưng kể cả khi chỉ đạt 7% đi chăng nữa thì tổng lượng nước mưa thu được từ các bức tường thẳng đứng cũng rất lớn. Bởi vì, diện tích bề mặt của các bức tường đứng của tòa nhà bao giờ cũng rộng hơn diện tích mái nhà rất nhiều và ở các khu đô thị thì có rất nhiều những tòa nhà chọc trời.

Ngôi nhà do kiến trúc sư Kiyoshi Sato thiết kế, được xây theo kiểu đứng độc lập từ năm 1987. Ngôi nhà nằm trong vùng lưu vực sông Shingashi - là một nhánh của sông Ara, thường xuyên bị ngập lụt khi trời mưa to. Vì vậy khi kiến trúc sư Kiyoshi Sato thiết kế ngôi nhà mới của mình, bằng cách đặt một bể chứa nước mưa ngầm có dung tích lớn dưới lòng đất để có thể tận dụng luôn nước mưa ngay tại nhà và góp phần hạn chế lụt lội. Ngôi nhà có bể chứa nước mưa ngầm dưới lòng đất với dung tích 40 m³ để thu nước mưa từ mái nhà. Nước mưa chủ yếu sử dụng để xả trong các công trình vệ sinh, và nếu đủ còn có thể dùng vào việc giặt giũ quần áo.

Ngôi nhà này cho thấy rõ những ý tưởng sử dụng nước mưa theo quy mô hộ gia đình. Ví dụ, anh ấy đã làm mát căn phòng bằng cách giăng các đường ống dẫn nước mưa ngay phía trên trần nhà. Nhiệt độ phòng khi đó có thể thấp hơn bình thường khoảng 3°C. Khi sử dụng cho mục đích sinh hoạt, hệ thống được thiết kế với thiết bị/ phương pháp lọc tốt nhất để nước mưa có thể sạch hơn: đồ lớp đất khoảng 70 mm theo chiều rộng của máng thu nước trên mái hiên và đặt thiết bị lọc và lưới lọc trên đường ống dẫn nước vào bể chứa.



Hình 1.13. Ngôi nhà Kiyoshi Sato ở Nhật Bản

(Murase và nnk. 1995)

1.3.Thu gom và sử dụng nước mưa tại Hàn Quốc

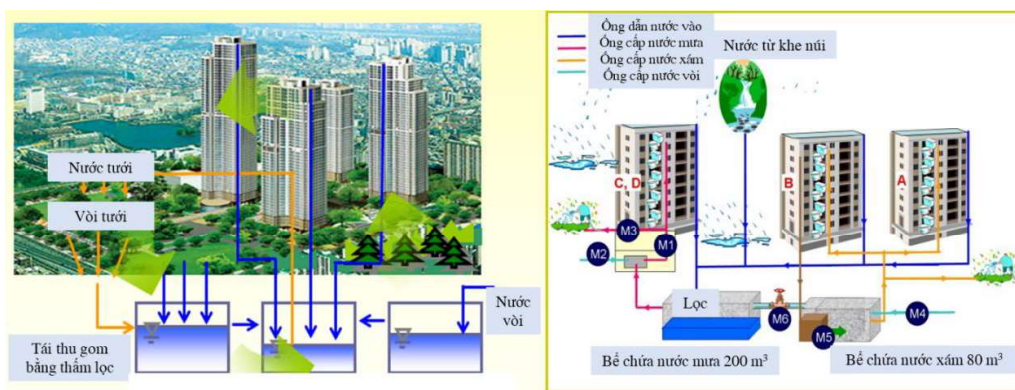
Cho đến nay, đã có 59 thành phố ở Hàn Quốc triển khai thu gom và sử dụng nước mưa, kể cả đưa quy định xây dựng bể nước mưa thành bắt buộc khi xây dựng công trình.

Tại Hàn Quốc, các tòa nhà cao tầng như chung cư, văn phòng, trung tâm thương mại, ký túc xá đều có hệ thống thu gom nước mưa từ mái nhà và các khu vực xung quanh để đưa tới các bể chứa nằm dưới tầng hầm. Cặn bẩn trong nước mưa được loại bỏ nhờ hệ thống lọc cát lắp đặt trên bể, trước khi nước mưa chảy vào bể chứa. Các bể nước mưa dùng cho mục đích cứu hỏa, tưới cây và xả nhà vệ sinh. Để khuyến khích chủ đầu tư chấp nhận với phương án xây dựng bể nước mưa, chính quyền địa phương đã cho phép họ tăng số tầng nhà của chung cư.

Ở trường học, nước mưa được thu gom chủ yếu từ mái của các tòa nhà và dẫn tới các bể chứa xây dựng ngầm hoặc nổi. Nước mưa được sử dụng cho mục đích cấp nước tưới cây trong trường. Hệ thống thu gom nước mưa cũng là mô hình giúp học sinh nâng cao ý thức trong việc sử dụng tiết kiệm nước, có ý thức hơn trong bảo vệ môi trường và có trách nhiệm hơn vì sự phát triển bền vững đô thị. Đối với các vùng ven biển hay hải đảo, nước mưa thu gom được sử dụng làm nước ăn trong thời gian học sinh học tại trường.

Đối với các bãi đỗ xe, nước mưa thường được tập trung về các bể ngầm, bên trong có các khối nhựa cứng, rỗng được lắp ghép, xếp chồng lên nhau, tạo thành một hệ thống thấm lọc và lưu giữ nước mưa chắc chắn. Bên ngoài khối lắp ghép này phủ lớp vải chống thấm và lớp sỏi. Tùy thuộc vào diện tích bãi đỗ xe, người ta tiến hành xây dựng một hoặc nhiều modul. Nước mưa được thấm, lọc sạch và làm chậm dòng chảy qua hệ thống này trước khi chảy tới các bể chứa hay cống thoát nước. Cũng có một số bãi xe sử dụng ngay các cấu kiện bê tông đúc sẵn làm bể chứa ngầm. Nước mưa ở đây được sử dụng cho các mục đích công cộng như rửa đường, cấp cho đài phun nước, cứu hỏa, vv... Dọc các tuyến phố, bên cạnh hệ thống thoát nước mưa vốn có của thành phố, các công trình thấm lọc nước mưa cũng được xây dựng. Các công trình đó có thể là các bề mặt có khả năng thấm nước dọc theo hai bên đường hoặc trên vỉa hè, hay hệ thống hào lọc ngầm, các hố ga thấm lọc. Ở một số nơi, người ta thu gom và chứa nước mưa trực tiếp dọc theo bề mặt đường giao thông. Các hào lọc hay hố ga thấm lọc giúp bổ cập nguồn nước ngầm. Lượng nước mưa khi quá nhiều sẽ chảy vào mạng lưới thoát nước mưa của thành phố.

Ở các tòa nhà cao tầng như chung cư, văn phòng, trung tâm thương mại, ký túc xá, nước mưa được thu gom từ mái và các khu vực trong khuôn viên của khu nhà và đưa tới các bể chứa nằm dưới tầng hầm. Cặn bẩn trong nước mưa được loại bỏ nhờ hệ thống lọc cát lắp đặt trên bể, trước khi nước mưa chảy vào bể chứa. Nước mưa sau đó được sử dụng để cấp cho xả rửa bồn, bồn tiểu, tưới sân vườn, dự trữ cho chữa cháy. Hình dưới thể hiện sơ đồ thu gom và sử dụng nước mưa cho khu chung cư cao cấp Star city ở Seoul. Tại đây, 3 bể nước mưa, dung tích mỗi bể 1000 m³ được xây dựng để chứa nước mưa cho mục đích cứu hỏa, tưới cây và xả toilet. Để khuyến khích chủ đầu tư đồng ý với phương án xây dựng bể nước mưa, chính quyền đã cho phép họ tăng số tầng nhà của chung cư, để đảm bảo lợi ích cho cả hai bên.



(a) (b)

Hình 1.14. Hệ thống thu gom và sử dụng nước mưa cho các tòa nhà.

(a) Chung cư cao cấp Star City; (b) Ký túc xá trường Đại học Quốc gia Seoul

Ở các trường học, nước mưa được thu gom chủ yếu từ mái của các tòa nhà và dẫn tới các bể chứa xây dựng ngầm hoặc nổi. Nước mưa được sử dụng cho mục đích rửa ráy của học sinh và cấp nước tưới cây, vườn trong trường. Hệ thống thu gom nước mưa cũng là mô hình giúp học sinh nâng cao ý thức trong việc sử dụng tiết kiệm nước, có ý thức hơn trong bảo vệ môi trường và có trách nhiệm hơn vì sự phát triển bền vững đô thị. Đối với các vùng ven biển hay các đảo, nước mưa thu gom được sử dụng làm nước ăn uống trong thời gian học sinh học tại trường.



Hình 1.15. Hệ thống thu gom và sử dụng nước mưa trong trường học.

Dưới các bãi đỗ xe, nước mưa thường được tập trung về các bể ngầm, bên trong có các khối nhựa cứng, rỗng được lắp ghép, xếp chồng lên nhau, tạo thành một hệ thống thẩm lọc và lưu giữ nước mưa chắc chắn. Bên ngoài khối lắp ghép này phủ lớp vải chống thấm và lớp sỏi. Tùy thuộc vào diện tích bãi đỗ xe, người ta tiến hành xây dựng một hoặc nhiều modul. Nước mưa được thấm, lọc sạch và làm chậm dòng chảy qua hệ thống này, trước khi chảy tới các bể chứa hay cống thoát nước. Cũng có một số bãi xe sử dụng ngay các cấu kiện bê tông đúc sẵn làm bể chứa ngầm. Nước mưa ở đây được sử dụng cho các mục đích công cộng như rửa đường, cấp cho đài phun nước, cứu hỏa, vv...

Dọc các tuyến phố, bên cạnh hệ thống thoát nước mưa vốn có của thành phố, các công trình thấm lọc nước mưa cũng được xây dựng. Các công trình đó có thể là các bề mặt có khả năng thấm nước dọc theo hai bên đường hoặc trên vỉa hè, hay hệ thống hào lọc ngầm, các hố ga thấm lọc. Ở một số nơi, người ta thu gom và chứa nước mưa trực tiếp dọc theo bề mặt đường giao thông. Các hào lọc hay hố ga thấm lọc giúp bổ cập nguồn nước ngầm. Lượng nước mưa chảy tràn sẽ chảy vào mạng lưới thoát nước mưa của thành phố.

Tại Hàn Quốc, nước mưa được thu gom cho mục đích làm nước cấp cho các hoạt động thương mại như du lịch và dịch vụ nhằm giảm tải lượng cho hệ thống cấp nước tập trung và tái sử dụng lại nguồn nước quý của trời ban này. Ví dụ điển hình: tại khu du lịch Dinosaur Expo ở Danghangpo, Goseong, Hàn Quốc, nước mưa được thu gom và tái sử dụng cho nhiều mục đích khác nhau như dội toa lét, tưới vườn, sử dụng trong khu vực nông nghiệp, công nghiệp, tạo cảnh quan (giếng phun nước, rèm chắn bằng các dòng nước mưa...). Mô hình thu gom và tái sử dụng nước mưa tại khu vực này được chia thành 2 hệ thống chính (Hình 2.9): 4 hệ thống đơn (tại cổng chính, mô hình thu gom nước mưa quang điện thế, khu vệ sinh và khu lưu trữ nước mưa) và 1 hệ thống kết hợp (nước mưa được sử dụng trong các khu cho nông nghiệp và công nghiệp) (Han et al. 2012).

1.4. Thu gom và sử dụng nước mưa tại Trung Quốc

Tài nguyên nước của Trung Quốc được ước tính trung bình khoảng 2300 m³/người, chỉ bằng khoảng ¼ mức tiêu thụ trung bình đầu người trên toàn Thế giới (Liu 2016). Trung Quốc nằm trong số 13 quốc gia đang thiếu hụt nguồn nước cấp cho các hoạt động sinh hoạt và nông nghiệp. Trong bối cảnh nguồn nước cấp đang ngày càng ô nhiễm, việc thu gom và sử dụng nước mưa làm nước cấp sinh hoạt đã và đang được chú trọng; đặc biệt là hoạt động kiểm soát chất lượng nước mưa. Nhìn chung, nước mưa được thu gom để sử dụng cho các khu vực thiếu nước như: 1) khu vực thiếu nước và thiếu tài nguyên, khu vực khô cằn và bán khô hạn như Cam Túc, miền trung Nam Hạ - nơi có lượng mưa chỉ dao động từ 200 – 400 mm/năm và thiếu hụt nguồn nước mặt; 2) khu vực thiếu nước theo mùa như Phúc Kiến, Quý Châu, Hồ Bắc và các khu vực đồi núi – những nơi có lượng mưa lớn nhưng dao động lớn theo mùa, tình trạng thiếu nước xảy ra vào mùa đông và mùa xuân; 3) khu vực khó khai thác nước như khu vực phía Tây Nam – nơi có mực nước ngầm quá sâu; 4) khu vực có chất lượng nước ngầm và nước mặt kém như nước nhiễm lợ, nhiễm mặn, nước bị flo hóa, nước có chứa hàm lượng a-sen cao (Liu 2016).

Hoạt động thu gom nước mưa tại Trung Quốc được thực hiện rộng rãi từ những năm 1980 để ứng phó với nguy cơ về suy giảm nguồn nước cấp và tiết kiệm chi phí khai thác các nguồn cấp nước khác. Các mô hình thu gom nước mưa tại Trung Quốc chủ yếu là ở quy mô hộ gia đình và tưới tiêu nông nghiệp.

Gần đây, các đô thị ở Trung Quốc coi thu gom và quản lý nước mưa là một phần quan trọng trong thoát nước bền vững. Từ năm 2013, Trung Quốc đã bắt đầu một chiến dịch quản lý nước mưa ở cấp độ quốc gia. Năm 2014, Bộ Nhà ở và Phát triển Đô thị, Nông thôn (MHURD) Trung Quốc đã ban hành “Hướng dẫn kỹ thuật sơ bộ cho xây dựng thành phố bọt biển – phát triển hệ thống nước mưa ít tác động” nhằm thúc đẩy Chương trình Thành phố bọt biển (sponge cities program - SCP) trên toàn quốc. Hướng dẫn này đưa ra lời giải thích cụ thể về Thành phố Bọt

biển, có nghĩa là thành phố được xây dựng giống như một miếng bọt biển, có ‘khả năng phục hồi’ tốt. Ý tưởng của “thành phố bọt biển” là tăng cường khả năng điều tiết và lưu trữ nước mưa trong các khu vực đô thị, quản lý nước mưa thông qua các giải pháp kiểm soát trung hạn, kiểm soát dòng chảy bề mặt từ thượng lưu xuống hạ lưu, lưu giữ nước bổ cập nước ngầm và tăng cường khả năng phục hồi của đô thị trong việc thích ứng với những thay đổi của môi trường và ứng phó với thiên tai - như cấu trúc thảm và đàn hồi của các bọt biển. So với các hệ thống quản lý nước mưa đô thị khác, SCP có mục tiêu rộng hơn, bao gồm cả loại bỏ tình trạng ngập úng đô thị, ngăn ngừa lũ lụt, cải thiện chất lượng nước, khôi phục hệ sinh thái tự nhiên và giảm thiểu tác động của đảo nhiệt. SCP đã trở thành động lực để cải thiện mô hình phát triển đô thị của Trung Quốc. Ngay sau đó, Bộ Tài chính (MF), cùng với MHURD và Bộ Tài nguyên nước (MWR) đã ban hành “Thông báo về hỗ trợ tài chính quốc gia cho phát triển thí điểm thành phố bọt biển”. Chỉ trong 2 năm 2015 – 2016, đã có 30 khu vực đô thị (quy mô khác nhau) được lựa chọn là nơi áp dụng thí điểm mô hình “thành phố bọt biển”. Các thành phố cam kết phát triển hạ tầng thuận với tự nhiên, quản lý nước mưa theo hướng bền vững. Thâm Quyển là thành phố đầu tiên của Trung Quốc thực hiện việc xây dựng “thành phố thông minh” và là “thành phố bọt biển” đầu tiên. 30 khu vực đô thị thí điểm này có quy mô và điều kiện khí hậu khác nhau, thể hiện tham vọng của chính phủ Trung Quốc trong việc quảng bá SCP trên toàn quốc. Chính phủ trung ương đã cam kết đầu tư 40–60 triệu RMB mỗi năm để xây dựng SCP tại các quận thí điểm từ năm 2015 đến năm 2017 và khuyến khích chính quyền địa phương gây quỹ để xây dựng SCP thông qua mô hình tài chính linh hoạt. Khoản đầu tư này sẽ được sử dụng để xây dựng và đổi mới các biện pháp quản lý nước đô thị nhằm biến đổi các quận này theo tiêu chuẩn của SCP. Tuy nhiên, do sự biến thiên về lượng mưa và sự thay đổi điều kiện thủy văn tại các khu vực áp dụng, chương trình “Các thành phố bọt biển” vẫn chưa thực sự phát huy tác dụng như mong đợi, hiệu quả giảm úng ngập chưa được cải thiện rõ rệt. Hiện nay, một kế hoạch đặc biệt cho thành phố bọt biển được mở rộng cho 653 thành phố ở Trung Quốc; trong đó, 71 thành phố đã nhận được phê duyệt của chính phủ, 135 thành phố đã thông qua đánh giá của chuyên gia, 164 thành phố đã hoàn thành dự thảo quy hoạch đặc biệt “Thành phố bọt biển” và 270 thành phố đang chuẩn bị dự thảo quy hoạch đặc biệt Thành phố bọt biển¹⁵.

¹⁵ Yang M, Sang YF, Sivakumar B, Chan F, Pan X (2020) Challenges in urban stormwater management in Chinese cities: A hydrologic perspective, *Journal of Hydrology*, Volume 591, 2020, 125314, ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125314>.



Hình 1.16. Dự án thành phố bọt biển tại Sanya, tỉnh Hainan¹⁶

(Diện tích 10ha; Tác giả chính: KTS. Kongjian Yu; Giải Kiến trúc AZ 2019, ASLA 2020)

1.5.Thu gom và sử dụng nước mưa tại khu vực Đông Nam Á

Việc thu hoạch nước mưa ở khu vực Đông Nam Á (SEA) đã được chú ý, nơi có tiềm năng cao về thu gom nước mưa có thể hỗ trợ sinh kế, an ninh lương thực và sức khỏe cộng đồng. Các nghiên cứu cho thấy thu gom và sử dụng nước mưa có thể mang lại cho các quốc gia Đông Nam Á những lợi ích kinh tế xã hội và môi trường khác nhau bao gồm tưới tiêu nông nghiệp, cung cấp nước uống bền vững ở các vùng nông thôn và giảm căng thẳng về nguồn cung cấp nước chính ở các khu vực thành thị¹⁷. Các phương thức thu gom và sử dụng nước mưa trong những năm gần đây có sự đa dạng và khác nhau giữa các quốc gia trong khu vực.

Tại Singapore, hầu hết mọi người đều sống trong các tòa nhà cao tầng nên việc thu gom nước mưa từ mái nhà được thực hiện và áp dụng rất rộng rãi. Nước mưa sau khi thu gom, được lưu trữ trong các bể chứa đặt trên mái nhà để sử dụng làm nước cấp sinh hoạt (trừ nước uống). Đặc biệt, tại sân bay Changi người ta đã lắp đặt một hệ thống thu gom nước mưa từ đường băng và các khu vực cây xanh xung quanh vào hai hồ chứa. Nước được sử dụng chủ yếu để diễn tập chữa cháy và xả nước trong nhà vệ sinh¹⁸.

¹⁶ <https://www.urpub.org/books/kongjianyu>

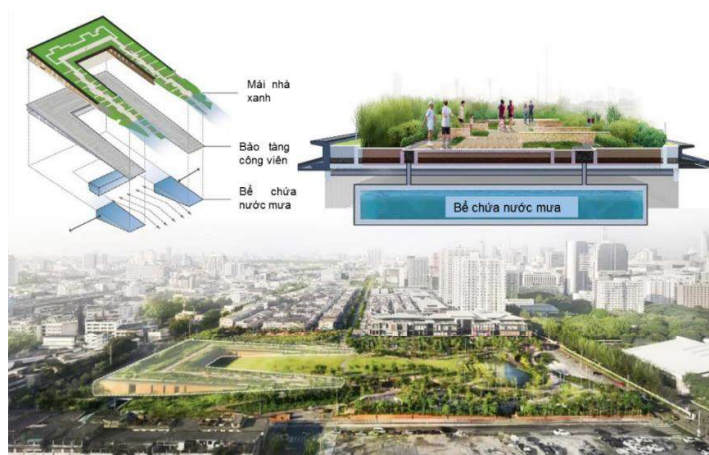
¹⁷ A review of rainwater harvesting in South East Asia

¹⁸ UN Environment Programme Examples of Rainwater Harvesting and Utilisation Around the World (UNEP, retrieved 24 May 2013)



Hình 1.17. Hệ thống thu gom nước mưa tại sân bay Changi¹⁹

Tại Thái Lan – quốc gia có lượng nước ngọt bình quân đầu người thấp nhất ở châu Á, hoạt động thu gom nước mưa sẽ mang lại nguồn cấp nước thay thế chính. Các “chum mưa” – những chiếc bình có dung tích lên tới 3000 lít được hứng từ các mái nhà được coi là nét văn hóa điển hình của Thái Lan. Để chống ứng ngập trong tương lai, thủ đô Bangkok đã và đang bắt tay vào thực hiện một số dự án, đi kèm với chiến lược quản lý nước mưa và tạo cảnh quan đô thị. Một trong những dự án chống ngập lụt điển hình là Công viên Trung tâm Đại học Chulalongkorn, một không gian xanh rộng 11 mẫu Anh có thể chứa tới một triệu gallon nước mưa để giải quyết tình trạng ngập lụt ở khu vực lân cận. Đây là dự án được xây dựng trên khu đất ở trung tâm Bangkok vào năm 2017, công viên được thiết kế để giữ nước mưa và chuyển hướng dòng chảy bề mặt có thể gây ra lũ cho các đường phố của thành phố, một bên của công viên được thiết kế có độ dốc nhất định để đưa nước mưa lưu trữ tại một bể chứa nước mưa lớn đặt ngầm.



Hình 1.18. Dự án lưu trữ nước mưa tại Công viên Trung tâm Đại học Chulalongkorn²⁰

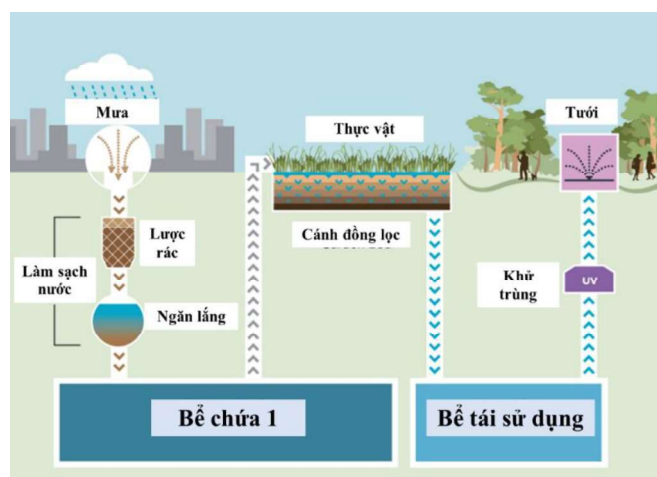
¹⁹ Tigno, C. Thailand: Promoting Rainwater Harvesting, Preserving Rain Water Jar Culture (Scribd, 2007)

²⁰ Alex Gray. 2018. Bangkok is sinking, so it built a park that holds a million gallons of rainwater to help prevent flooding. <https://www.weforum.org/agenda/2018/09>

Tại Philippines, Quốc hội đã thông qua một đạo luật vào năm 1989 yêu cầu mỗi ngôi làng trong số 42.000 ngôi làng của đất nước phải xây dựng các ao hoặc hồ thu gom nước mưa chủ yếu để nuôi trồng thủy sản cũng như để giảm thiểu nguy cơ lũ lụt, cung cấp nước cho các khu vực ven bờ có thảm thực vật và các công viên nhỏ, và bổ sung nguồn nước ngầm đã cạn kiệt. Tuy nhiên, hơn hai thập kỷ sau, do chính quyền địa phương không thực hiện nên chỉ có một số nhà xây dựng các hệ thống thu gom nước mưa theo đạo luật²¹. Tại các khu vực đảo đang đối mặt với tình trạng khan hiếm nguồn nước, nước mưa được thu gom tại quy mô hộ gia đình. Nước mưa được thu gom từ mái nhà, qua hệ thống đường ống truyền tải và lưu trữ tại bể chứa được sử dụng cho mục đích sinh hoạt và ăn uống sau khi đã qua các bước xử lý thích hợp. Nước mưa được thu gom từ các bể mặt chứa khác được lưu trữ để sử dụng làm nước tưới và dội toa-lét²².

1.6. Thu gom và sử dụng nước mưa tại Úc

Úc đang hướng tới một phương pháp tiếp cận trong quản lý đô thị trong đó coi chu trình nước trong đô thị là một thực thể chứ không xem xét từng thành phần riêng biệt (nước mưa, nước mưa chảy tràn, nước thải, các nguồn nước cấp) với một trong những mục tiêu là thu gom và tái sử dụng nước mưa để bổ sung cho các nguồn cấp nước khác. Cùng với giảm được lượng nước từ các nguồn cấp nước, việc thu gom và tái sử dụng nước mưa có thể giảm lượng nước mưa đổ vào hệ thống thoát nước, giảm lưu lượng nước mưa chảy tràn lớn nhất và đạt được hiệu quả kinh tế trong việc phát triển ở cả quy mô đô thị và quy mô vùng²³.



Hình 1.19. Một hệ thống thu gom và sử dụng nước mưa để tưới tại Úc²⁴

²¹ Oposa T., Jr. Implement 1989 Rainwater collection law, Philippine Daily Inquirer, 2009.

²² Joel A. Ciriaco and Carmen L. Cruzata and Catherine L. Sumaculub, 2022, Rainwater Harvesting Practices and Utilization in the Island of Malangabang, Philippines. Proceedings of the 2nd International Conference on Education and Technology (ICETECH 2021), 227-234, Atlantis Press doi=10.2991/assehr.k.220103.033.

²³ Australia Government (2012). Water for Future: Choosing the right sized rainwater tank.

²⁴ Urban water – City of Melbourne, <https://urbanwater.melbourne.vic.gov.au/>

Ở các tòa nhà có đồng hồ nước, người sử dụng và trả tiền nước có thể giảm chi phí thanh toán hóa đơn nước của mình thông qua việc lắp đặt hệ thống thu gom và tái sử dụng nước mưa. Hiệu quả kinh tế của mô hình này phụ thuộc vào một số yếu tố, như chi phí đầu tư hệ thống thu gom và tái sử dụng nước mưa, chi phí vận hành/bảo dưỡng, lượng nước sử dụng có thể được thay thế bằng nước mưa, tuổi thọ của hệ thống.

1.7. Thu gom và sử dụng nước mưa tại Châu Âu

Thu gom nước mưa là một phần của quy định của EU về quản lý tổng hợp nguồn nước. Chính phủ Đức nêu rõ chủ trương quản lý phân tán với nước mưa. Ở Đức, ngày càng nhiều hoạt động diễn ra trong lĩnh vực này, và đã hình thành hẳn một ngành công nghiệp về thu gom, lưu trữ, thấm, tái sử dụng nước mưa. Giải pháp thấm và chứa nước về mùa mưa đã được phát triển nhanh chóng trong 30 năm qua. Các bể chứa nước và các vùng chứa nước ở Đức có chức năng lưu giữ nước mưa tạm thời để giảm lưu lượng đỉnh vào mùa mưa, đồng thời xử lý một phần những chất gây ô nhiễm nhờ quá trình lắng và lọc. Tổng thể tích chứa nước mưa ở Đức là một con số đáng tự hào với 46753 triệu (m^3) – tương đương 567 (L/người dân). Ngoài ra, Đức cũng đã xây dựng được bộ tiêu chí về công trình xanh, chuẩn bị áp dụng cho tất cả các loại công trình. Hiện bộ tiêu chí này đang được khuyến khích áp dụng một cách tự nguyện.



Hình 1.20. Thu gom nước mưa quy mô hộ gia đình tại Đức

(Waterworld.com)

Ở Đức, đã ban hành nhiều quy định cụ thể, liên quan đến cả ba đối tác; đơn vị thiết kế, thi công công trình, người sử dụng, và người vận hành công trình, với những mối quan tâm cả về sức khỏe, sự an toàn và môi trường. Bắt đầu áp dụng từ 2003, nhiều bang của Đức ban hành các quy định kỹ thuật và quản lý về quy hoạch, xây dựng, vận hành và bảo dưỡng các hệ thống công trình và thiết bị thu gom nước mưa, theo nguyên tắc: cố gắng đơn giản, để dễ áp dụng. Việc lắp đặt các hệ thống thu gom và tái sử dụng nước mưa phải được thông báo cho công ty cấp nước, nhưng không cần phải xin phép. Nước mưa không được sử dụng cho ăn uống nếu không có biện pháp xử lý phù hợp, nhưng vẫn được sử dụng cho giặt giũ. Hiện nay, việc lắp đặt hệ thống thu và tái sử dụng nước mưa chưa phải là bắt buộc ở tất cả các bang. Việc bắt

buộc hay không, hiện do chính quyền địa phương quyết định. Ở một số bang, thu gom nước mưa đã được đưa vào quy định bắt buộc.

Các chủ công trình có thu gom và tái sử dụng nước mưa được hỗ trợ về mặt tài chính, bằng cách bao cấp chi phí xây dựng, lắp đặt hệ thống hay được giảm phí thoát nước. Nếu chủ công trình có thu gom và tái sử dụng nước mưa, có thể được giảm chi phí mua nước, giảm phí nước thải phải trả, mặc dù lượng nước xả ra trong hai trường hợp có và không có thu gom nước mưa là tương đương. Bang Bremen có chương trình lớn hỗ trợ các chủ công trình áp dụng việc lưu trữ và thấm nước mưa. Chính quyền hỗ trợ 1/3 kinh phí xây dựng, tối đa 2000 euro cho mỗi gia đình. Với diện tích mái 50 m², hộ gia đình cần phải xây dựng bể thu nước mưa dung tích tối thiểu 2 m³, bằng vật liệu bền, không phải bằng nhựa. Hộ gia đình có thể được vay tối đa 5000 euro với lãi suất thấp (2%/năm) để xây dựng hệ thống thu gom, tái sử dụng nước mưa.

Để lồng ghép thu gom nước mưa với thoát nước đô thị, Đức khuyến khích áp dụng các công cụ tài chính: tách phí nước thải khỏi thoát nước mưa. Cũng ở bang Bremen, chính quyền thậm chí hỗ trợ hộ gia đình chuyển loại bề mặt phủ của gia đình từ không thấm sang thấm, thông qua các hình thức hỗ trợ bằng tiền hoặc cho vay ưu đãi. Ở một số bang khác, với chủ công trình không cho xả nước mưa vào cống thoát nước đô thị, chính quyền cho phép giảm phí nước thải từ 2.75 xuống 2.3 euro/m³ (tương đương phí thoát nước mưa là 0.45 euro/m³). Ở châu Âu, phí thoát nước và xử lý nước thải cao hơn phí thoát nước mưa và cao hơn giá nước sạch, kể cả nước uống tại vòi.

Thu gom và tái sử dụng nước mưa cũng đóng một vai trò trong việc thúc đẩy quản lý bền vững nước đô thị, được định hướng chương trình khung về nước của các nước thuộc liên minh châu Âu (WFD), có hiệu lực trong tất cả các quốc gia thành viên từ tháng 12 năm 2000, kêu gọi một loạt các biện pháp để bảo vệ môi trường nước. Mục tiêu chủ yếu của WFD bao gồm:

- Ngăn chặn sự suy giảm hơn nữa, bảo vệ và nâng cao tình trạng của các hệ sinh thái dưới nước, liên quan đến những nhu cầu về nước, hệ sinh thái trên cạn và vùng đất ngập nước.
- Thúc đẩy sử dụng bền vững nước trên cơ sở bảo vệ lâu dài tài nguyên nước có sẵn.
- Góp phần giảm nhẹ tác động của lũ lụt và hạn hán.

1.8. Thu gom và sử dụng nước mưa tại Việt Nam

1.8.1. Truyền thống sử dụng nước mưa ở Việt Nam

Việt Nam có truyền thống sử dụng nước mưa từ lâu đời. Những phát hiện khảo cổ học về các mương thoát nước mưa lớn xây dựng bằng gạch nung tại khu vực Hoàng thành Thăng Long đã cung cấp bằng chứng về sự phát triển quy mô lớn của hệ thống quản lý nước mưa từ rất lâu đời của cha ông ta. Mương thoát nước lớn, xây hoàn toàn bằng gạch vuông, gạch bìa, có hai hàng gỗ đóng sát hai bên để chống lún, được phát hiện cùng với các dấu hiệu kiến trúc thời Lý tại khu vực bắc Đuan Môn tại Hoàng Thành Thăng Long²⁵. Công trình chạy dọc suốt theo

²⁵ <http://hoangthanhthanglong.com>

hướng Bắc – Nam, lại có nhánh chạy về phía Tây đổ nước vào đường thoát nước lớn phía dưới, rộng 2 m, cao 2 m, có cấm cọc gỗ để gia cố. Các nhà khoa học đã đưa ra một số giả thiết về chức năng của di tích, về đường nước lớn có quan hệ chặt chẽ với móng tường rộng 1,6 m, phục vụ cho việc thoát nước của một khu vực quan trọng thuộc Trung tâm Hoàng Thành Thăng Long thời Lý. Song song với đường nước này có dấu tích móng sành của móng tường thời Lý. Đây là đường dẫn nước khổng lồ xây bằng gạch chưa từng thấy trong bất cứ di tích khảo cổ nào ở Việt Nam.



Hình 1.21. Rãnh thoát nước mưa lớn thời Lý được phát hiện tại Hoàng Thành Thăng Long

Tại các vùng nông thôn, giếng làng được coi là báu vật và là nơi lưu giữ giá trị văn hóa lịch sử. Giếng làng cung cấp nước sinh hoạt, thường được khơi gần đường cái, ở nơi có nguồn nước dồi dào, không bao giờ cạn, để vừa đảm bảo nguồn nước cung cấp, thuận lợi cho bà con sử dụng, vừa thể hiện mong muốn nơi khởi nguồn của sự sống luôn luôn sinh sôi, nảy nở, đầy ắp, phát triển không ngừng. Cũng chính vì sự quý giá ấy mà giếng làng xưa được xây dựng khá kiên cố và vững chắc. Phần lớn giếng được xây dựng bằng chất liệu đá như: đá cuội, đá ong,.... Trong đó, từ đáy giếng lên đến thành giếng được xếp bằng đá ong, đá cuội,... tạo thể vững chắc cho thành giếng mà qua hàng trăm năm không bị sụt, lún. Đá ong còn góp phần lọc nước từ trong nguồn chảy ra, giúp nước trong, ngọt hơn. Khi chưa có nước máy, giếng làng ngoài việc lọc nước ngầm còn là công trình lưu trữ nước mưa, cấp nước sinh hoạt cho người dân trong làng. Giếng làng tọa lạc ở vị trí phong quang, sạch sẽ, xung quanh là ruộng lúa hay nằm ngay ở giữa làng, có địa thế cao vừa phải so với xung quanh, không bị khô hạn về mùa nắng và ngập lụt về mùa mưa. Giếng làng được coi là một công trình cấp nước và là nơi sinh hoạt cộng đồng.



Hình 1.22. Giếng làng ở vùng nông thôn Việt Nam

Từ xa xưa, hệ thống ao, hồ, sông, suối được kết nối, giúp sử dụng nước và quản lý hiệu quả nước mưa, giảm úng ngập ở các đô thị và vùng nông thôn. Nước mưa được chảy vào các ao hồ, sông suối được sử dụng làm nước sinh hoạt hoặc tưới trong nông nghiệp. Ngày nay, diện tích, số lượng ao, hồ bị thu hẹp ở nhiều nơi đã gây ra nhiều hệ lụy: ngập lụt, ô nhiễm không khí, hệ sinh thái bị ảnh hưởng, chất lượng cuộc sống của cư dân khu vực bị giảm sút....

Ở quy mô hộ gia đình, vại nước mưa đã trở nên rất quen thuộc với người dân quê. Hình ảnh hàng cau, vại nước mưa có thể coi là hình ảnh đặc trưng của các hộ gia đình, dù giàu hay nghèo ở các làng quê. Các vại nước mưa thường được làm bằng đất nung, có chiều cao khoảng hơn 1 m, đặt ở giữa hai cây cau. Người dân lấy những tàu cau buộc nối dài chúng với nhau, quấn quanh hai thân cau từ trên xuống. Đầu dưới của hai sợi dây đó được bắt vào miệng vại. Vại nước mưa thường được đặt ở gần bếp để tiện cho việc đun nấu. Người dân thường không hứng nước mưa ngay mà để nước mưa đọng đầu chảy ra ngoài, gột rửa bụi bẩn bám trên thân và lá cau. Người dân vùng quê quan niệm giọt nước mưa là hạt ngọc trời, được chưng cất từ quá trình bốc hơi nên trong vắt và ngọt lịm; nước mưa luôn được coi là nước uống tốt nhất. Sau này, nhu cầu về sử dụng nước ngày càng tăng, người dân thường thu gom nước mưa bằng các máng tre và thu vào các vại nước mưa lớn hoặc bể chứa bằng gạch, bê tông.

Truyền thống thu gom và sử dụng nước mưa được thực hành từ hộ gia đình đến cộng đồng (thôn, xóm), làm cho nước mưa trở nên vô cùng thân thuộc với con người Việt Nam.



Hình 1.23. Vại nước mưa ở vùng nông thôn Việt Nam



Hình 1.24. Bể chứa nước mưa xây bằng gạch ở hộ gia đình vùng nông thôn Việt Nam

1.8.2. Biến đổi khí hậu và vai trò của sử dụng nước mưa tại Việt Nam

Biến đổi khí hậu đang diễn ra ở quy mô toàn cầu, khu vực và ở Việt Nam do các hoạt động của con người làm phát thải quá mức khí nhà kính vào bầu khí quyển. Biến đổi khí hậu sẽ tác động nghiêm trọng đến sản xuất, đời sống và môi trường trên phạm vi toàn thế giới. Vấn đề biến đổi khí hậu đã, đang và sẽ làm thay đổi toàn diện, sâu sắc quá trình phát triển và an ninh toàn cầu như lương thực, nước, năng lượng, các vấn đề về an toàn xã hội, văn hóa, ngoại giao và thương mại. Là một trong những nước chịu tác động nặng nề nhất của biến đổi khí hậu, Việt Nam coi ứng phó với biến đổi khí hậu là vấn đề có ý nghĩa sống còn.

Theo số liệu quan trắc, biến đổi khí hậu ở Việt Nam vẫn tiếp tục diễn biến theo xu thế đã được nhận định. Các hiện tượng khí hậu cực đoan tiếp tục được ghi nhận với cường độ mạnh hơn và tần suất cao hơn. Số liệu quan trắc trong 60 năm qua cho thấy, nhiệt độ trung bình năm trên cả nước tăng khoảng 0.89°C; lượng mưa giảm ở các khu vực phía Bắc từ 1% đến 7% và tăng ở các khu vực phía Nam từ 6% đến 21%; số lượng các cơn bão mạnh tăng; nhiệt độ ngày cao nhất và thấp nhất tăng; số ngày nóng tăng ở hầu hết các khu vực; hạn hán gia tăng trên phạm vi toàn quốc; số ngày rét đậm, rét hại giảm; mưa cực đoan tăng; mực nước biển trung bình của các trạm ven biển và hải đảo tăng 2.74 mm/năm, riêng trong giai đoạn 1993 - 2018 tăng 3.0 mm/năm (Bộ Tài nguyên và môi trường, 2022).

Hiện tượng mưa lớn ở Việt Nam được xác định bởi lượng mưa tích lũy trong 24 giờ (lượng mưa ngày) vượt quá ngưỡng 50mm. Nói cách khác, một ngày được gọi là có mưa lớn xảy ra nếu tổng lượng mưa đo được của ngày đó ít nhất bằng 50mm. Số ngày mưa lớn hàng năm nói chung biến động rất mạnh và rất khác nhau giữa các vùng khí hậu. Ở Tây Bắc hàng năm có khoảng 4-8 ngày mưa lớn, ở Đông Bắc có khoảng 4-38 ngày, ở Đồng bằng Bắc Bộ là 5-7 ngày, ở Bắc Trung Bộ 9-13 ngày, ở Nam Trung Bộ 3-10 ngày, ở Tây Nguyên và Nam Bộ khoảng 5-9 ngày. Số liệu quan trắc thời kỳ 1961-2007 cho thấy đợt mưa lớn dài nhất ở Việt Nam có thể kéo dài tới 8 ngày. Những kỷ lục mới vẫn được thiết lập mỗi năm. Các cụm từ “mưa lớn kỷ lục”, “nắng nóng kỷ lục”, “kỷ lục về lũ lụt” đã và đang xuất hiện ngày càng phổ biến trên các phương tiện thông tin đại chúng ở Việt Nam trong những năm gần đây. Năm 2017 được coi là năm kỷ lục về thảm họa thiên tai tại Việt Nam, với hơn 16 cơn bão, lũ lịch sử trái quy luật.

Xu thế của số ngày mưa lớn là giảm nhẹ hoặc gần như không biến đổi trên các vùng khí hậu phía Bắc, tăng nhẹ ở vùng Nam Bộ và tăng khá mạnh ở Nam Trung Bộ, Tây Nguyên và phần phía Nam của Bắc Trung Bộ. Sự tăng lên của số ngày mưa lớn trên các vùng Trung Bộ và Tây Nguyên là một điều đáng lo ngại, vì nó liên quan đến những hiện tượng thiên tai như lũ lụt, sạt lở đất.

Để thích ứng với biến đổi khí hậu, cần có cách tiếp cận tổng thể trong việc sử dụng nước mưa bằng các giải pháp công trình và giải pháp phi công trình. Đối với các giải pháp công trình, việc xây dựng và duy trì hệ thống thoát nước mưa hiệu quả phải được kết hợp với các giải pháp thay thế. Các giải pháp này có thể là các giải pháp cứng hoặc giải pháp mềm nhằm mục đích làm chậm tốc độ nước thoát. Có thể làm chậm dòng chảy bằng nhiều cách khác nhau. Hiểu một cách chung nhất, đô thị sẽ trở thành một “tấm xốp” và thu giữ nước (tạm thời). Thu giữ nước cũng sẽ tạo ảnh hưởng tích cực đối với những tác động khác gây ra do biến đổi khí hậu như hạn hán và gia tăng nhiệt độ.

Các giải pháp công trình liên quan đến quản lý nước mưa có thể bao gồm:

- Tăng kích thước hệ thống thoát nước mưa để chống úng ngập cho các đô thị;
- Làm chậm dòng chảy bề mặt bằng cách thu giữ nước mưa thông qua các công trình: hồ chứa, bể chứa nước mưa, các khu đa chức năng tham gia kiểm soát ngập úng, mái nhà xanh, ...
- Làm chậm dòng chảy bằng công nghệ tự thấm thông qua các bề mặt phủ thấm nước; phát triển khu vực/công trình xanh, thu gom – trữ - thấm nước;
- Thực hiện các giải pháp tiếp cận “thân thiện với nước”, các giải pháp xây dựng nhà cửa thích ứng được với điều kiện thực trạng;
- Chuyển hướng dòng chảy về các khu vực khác để giảm ngập úng. Giải pháp này phụ thuộc chủ yếu vào điều kiện địa hình và đặc điểm lưu vực. Việc chuyển hướng dòng chảy có thể thực hiện được bằng cách xây dựng các tuyến cống ngăn nước mưa chảy về trung tâm thành phố, chuyển nước mưa vào các hồ chứa/bể chứa để tái sử dụng cho các mục đích khác nhau như tưới cây, rửa đường, v.v.

Các giải pháp phi công trình liên quan đến sử dụng nước mưa bao gồm:

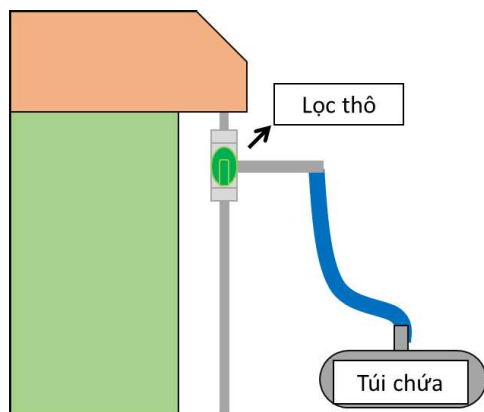
- Các giải pháp liên quan đến vận hành và bảo dưỡng hệ thống nước mưa, hệ thống nước đô thị nói chung;
- Các giải pháp liên quan đến dự báo khí tượng, thủy văn, thời tiết; các công cụ mô hình hóa, cảnh báo sớm ngập lụt; gắn với các hình thức truyền thông và hỗ trợ cộng đồng;
- Giải pháp liên quan đến quy hoạch như phân vùng ngập úng, phân vùng đô thị; tích hợp quy hoạch nước mưa với quy hoạch chống lũ, thủy điện và điều tiết hồ chứa đa mục tiêu, tưới tiêu thủy lợi, ...;
- Các giải pháp quản trị hệ thống nước mưa và quản lý đô thị;
- Các giải pháp xây dựng và áp dụng các chính sách, quy định hỗ trợ việc thu gom và sử dụng nước mưa;
- Các giải pháp nhằm nâng cao năng lực, nhận thức của cộng đồng và các bên liên quan trong sử dụng nước mưa;
- Các giải pháp liên quan đến bảo hiểm nước mưa: xây dựng các chương trình bảo hiểm vì mô hỗ trợ người sử dụng nước mưa và có đóng phí bảo hiểm khi họ phải chịu những tác động tiêu cực do biến đổi khí hậu gây ra như hạn hán, ngập lụt.

1.9. Một số dự án thu gom, tái sử dụng nước mưa ở Việt Nam

1.9.1. Thu gom nước mưa để cấp nước ăn uống, sinh hoạt

Một số hệ thống thu gom nước mưa ở quy mô hộ gia đình đã được nhóm nghiên cứu Trường Đại học Xây dựng Hà Nội cùng các đối tác Hàn Quốc thực hiện tại khu vực đồng bằng sông Hồng và miền núi phía Bắc để cấp nước ăn uống cho người dân.

Từ năm 2008, 3 hệ thống lắp đặt tại 3 hộ gia đình ở thôn Cự Đà, xã Cự Khê, huyện Thanh Oai, Hà Nội. Nước mưa được thu gom từ các mái nhà, được đưa qua thiết bị lọc thô, và lưu trữ tại các túi nước mưa đặt dưới đất có thể tích 1 m³, có gắn vòi lấy nước.



a) Sơ đồ cấu tạo



b) Mô hình lắp đặt ngoài thực tế

Hình 1.25. Hệ thống thu gom nước mưa dùng túi chứa cho hộ gia đình ở Cự Khê

Năm 2009, 4 hệ thống được lắp đặt tại thôn Lai Xá, xã Kim Chung, huyện Hoài Đức và thôn Cự Đà, xã Cự Khê, huyện Thanh Oai. Nước mưa được thu gom từ bề mặt mái húng (mái nhà hoặc tấm bạt), qua thiết bị lọc thô, lưu trữ tại các túi chứa nước mưa có thể tích từ 1 – 2 m³. Với thể tích nhỏ, hệ thống này chưa đáp ứng đủ nhu cầu sử dụng nước cho các hộ gia đình, chỉ sử dụng để cấp nước ăn uống.



Hình 1.26. Hệ thống thu gom nước mưa cấp nước ăn uống tại thôn Lai Xá, Kim Chung, Hoài Đức, Hà Nội

Năm 2010, 5 hệ thống quy mô hộ gia đình đã được tiếp tục lắp đặt tại xã Cự Khê, với một số cải tiến kỹ thuật nhằm nâng cao chất lượng nước sau thu gom. Song chắn rác được bố trí ở cuối máng thu. Bể lắng hay bồn tách nước mưa đợt đầu được lắp đặt trước bể chứa nước mưa để loại bỏ cặn bẩn. Bể chứa nước mưa được xây dựng bằng gạch, bê tông hay bằng thép không gỉ, có dung tích 1-2 m³. Nước mưa được sử dụng cho mục đích ăn uống. Thước đo mực nước

cho phép người sử dụng có thể xác định được lượng nước còn lại trong bể, có kế hoạch sử dụng nước phù hợp.



Hình 1.27. Hệ thống thu gom nước mưa cấp nước ăn uống tại Cự Khê, 2010

Từ năm 2008 đến 2014, tổng cộng có khoảng 70 hệ thống thu gom nước mưa đã được lắp đặt tại Thanh Trì và Hoài Đức, Hà Nội và Kim Bảng, Hà Nam



Hình 1.28. Các hệ thống thu gom nước mưa cấp nước ăn uống tại Kim Bảng, Hà Nam

Tại khu vực đồng bằng Sông Cửu Long, nước mưa thường được lưu trữ trong các bể chứa bằng sành, bê tông cốt thép, xi măng lưới thép đúc sẵn hay inox. Nước mưa được thu gom từ mái nhà (thường lợp ngói hoặc tôn kẽm); máng xối là các ống nhựa hờ (cắt bỏ 1/3 đường kính ống); phía cuối máng xối có kết nối với ống dẫn nước về bồn chứa; nước mưa đợt đầu được tách thủ công tại bộ phận tách nước mưa là các đường chờ và hệ thống van khóa đóng mở bằng tay (van xả ban đầu được mở, khi thấy nước mưa trong thì đóng van xả để chuyển nước mưa sạch về bồn chứa).

Các bể nước mưa thường có thể tích 1-5 m³, dạng bồn đứng hay bồn ngang. Có thể có nhiều bồn nối tiếp nhau. Một số trường hợp có sử dụng bộ lọc tự chế để xử lý nước mưa, lắp giữa các bồn hay sau bồn cuối cùng.

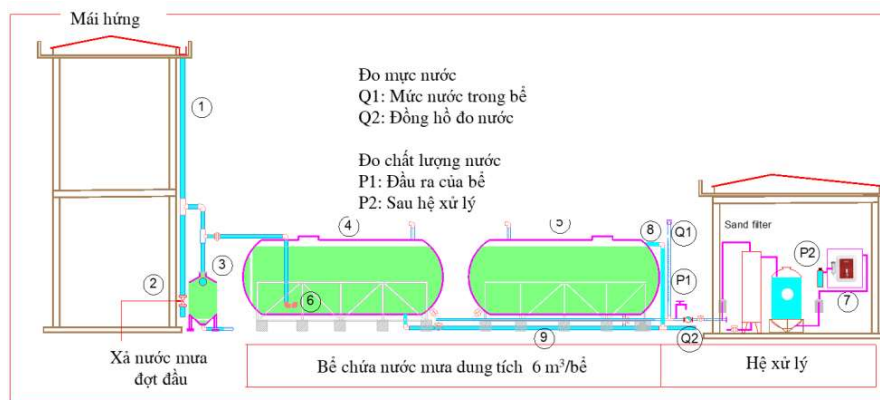
Một số hộ dân áp dụng phương pháp khử trùng nước mưa bằng cách thả viên Clo nén TCCA 2g vào bể đầu tiên và ngâm trong khoảng thời gian 1 ngày. Sau đó nước mưa chảy qua bộ lọc và đưa về bồn chứa thứ 2 cho tới khi mực nước ở 2 bồn chứa đạt cân bằng. Nước mưa từ bồn chứa thứ 2 được sử dụng cho mục đích sinh hoạt trong suốt mùa mưa. Đến mùa khô, nước mưa chỉ được sử dụng cho mục đích ăn uống để tiết kiệm nước đủ dùng cho cả mùa khô.

1.9.2. Nước mưa cho công trình công cộng

1.9.2.1. Thu nước mưa để cấp nước ăn uống cho các trường học

Nhóm nghiên cứu thuộc Trường Đại học Xây dựng Hà Nội và các đối tác Hàn Quốc đã lắp đặt 2 hệ thống thu gom, xử lý nước mưa, cung cấp nước uống cho Trường Tiểu học và Trường Trung học cơ sở Đại Cường, xã Đại Cường, huyện Kim Bảng, Hà Nam từ năm 2015. Xã Đại Cường không có hệ thống cấp nước tập trung. Nguồn nước sử dụng chính cho người dân là nguồn nước ngầm và một phần từ nguồn nước mưa. Hai trường học cũng khai thác nước ngầm trong khuôn viên của trường và xử lý sơ bộ trước khi cung cấp tới các khu vệ sinh. Do khu vực này nằm trong vùng bị nhiễm asen trong nước ngầm với nồng độ cao, nước uống cho giáo viên và học sinh đều dùng nước đóng chai mua tại địa phương.

Sơ đồ hệ thống thu gom và xử lý nước mưa tại xã Đại Cường được thể hiện trên hình dưới đây. Hệ thống gồm các thành phần như: ống đứng thu gom và dẫn nước từ mái tới bể chứa; để tăng cường khả năng loại bỏ cặn bẩn từ mái nhà hay xả tràn trong trường hợp mưa lớn, một van hai chiều được lắp đặt tại điểm cuối của ống đứng; van được mở hoàn toàn trước trận mưa đầu tiên của mùa mưa, để xả bỏ cặn, cát, bụi tích trên mái. Nước mưa chảy qua bình xả nước mưa đợt đầu, sau đó vào bể chứa thứ 1 và sang bể chứa thứ 2. Các bể vừa có chức năng lưu giữ nước mưa, vừa lắng các cặn bẩn có trong nước mưa. Nước mưa được xử lý triệt để bằng bộ lọc nhiều bậc: lọc cát, lọc sợi, hấp phụ các bon hoạt tính, khử trùng bằng đèn UV. Nước được phân phối tới lớp cho học sinh sử dụng bằng cách lấy vào các bình chứa nước, do các em học sinh phân công nhau, cùng với nhiệm vụ tự quản hệ thống hàng ngày.



Hình 1.329. Sơ đồ hệ thống thu gom, xử lý nước mưa tại trường THCS và THPT Đại Cường, Kim Bảng, Hà Nam



Hình 1.30. Hệ thống xử lý và bồn phân phối nước mưa

Hệ thống đã cung cấp nước uống ổn định cho học sinh hai trường, với lượng nước tiêu thụ từ 50 – 60 m³/năm. Định kỳ, mẫu nước được lấy và phân tích bởi phòng thí nghiệm đạt chuẩn quốc gia, đảm bảo đáp ứng QCVN 6-1: 2010/BYT (Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia đối với nước khoáng thiên nhiên và nước uống đóng chai).

Lợi ích thu được từ hệ thống thu gom và xử lý nước mưa thành nước ăn uống tại xã Đại Cương: Học sinh được sử dụng nguồn nước sạch, đảm bảo quy chuẩn nước uống trực tiếp, với giá thành giảm từ 40 – 45% so với giá thành mua nước uống đóng chai. Tiết kiệm tiền mua nước uống tại trường cho học sinh. Kết quả này chứng minh tiềm năng cho các trường phổ thông hay doanh nghiệp muốn đầu tư cấp nước cho trường học từ nguồn nước mưa.

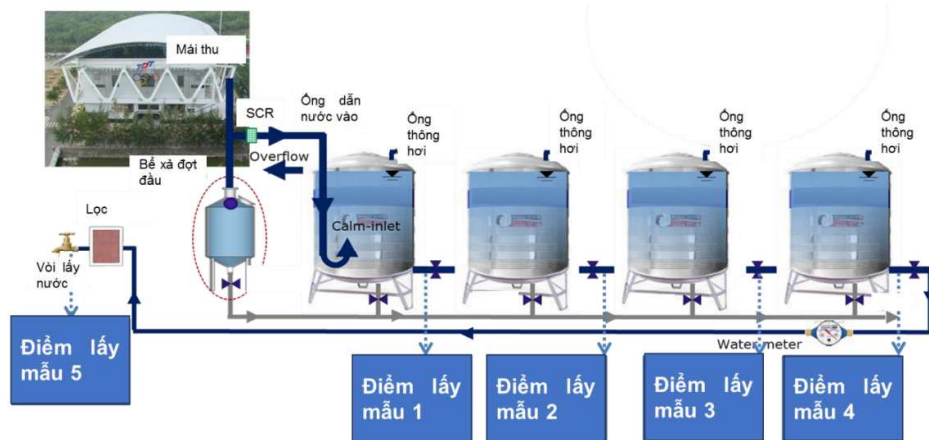
Dự án có thể tăng khả năng chi trả bằng cách chia sẻ chi phí, thông qua đóng góp của một doanh nghiệp, đóng góp của cộng đồng bằng tài chính và nhân công, nguyên vật liệu... Để xây dựng hệ thống, hoàn toàn không yêu cầu lao động có tay nghề cao, và có thể sử dụng tối đa vật liệu xây dựng phù hợp tại địa phương. Sự tham gia của cộng đồng, đóng góp sức lao động cũng sẽ giúp làm giảm đáng kể chi phí của dự án, đồng thời gây tác động tích cực trong việc xây dựng tinh thần sở hữu đối với hệ thống.

Hiểu biết về hệ thống thu gom, xử lý, sử dụng nước mưa, với các hướng dẫn kỹ thuật sử dụng, vận hành và bảo trì hệ thống, cùng với sự tham gia nhiệt tình của người dân, sẽ giúp giảm những hoài nghi của người dân, chủ động bỏ kinh phí đầu tư các hệ thống tương tự.

Một biện pháp tốt để nâng cao nhận thức về nước mưa hay cấp nước - vệ sinh và sức khỏe nói chung là qua hệ thống giáo dục của trường học, từ đó lan tỏa ra cộng đồng. Giáo dục bao gồm cả những hình thức chính quy, không chính quy, cả lý thuyết và thực hành. Giáo dục chính quy là thông qua truyền bá kiến thức trong lớp học. Giáo dục không chính quy được thực hiện qua các buổi thảo luận, hội thảo, các hoạt động ngoại khóa... Nhóm nghiên cứu Đại học Xây dựng Hà Nội cùng với các đối tác Hàn Quốc, các thầy cô giáo và chính quyền địa phương đã triển khai nhiều hoạt động truyền thông về nước mưa, kết hợp với các nội dung về nước sạch, vệ sinh và sức khỏe cho học sinh 2 trường, hấp dẫn và thu hút đông đảo các em tham gia. Một cuộc thi quy mô lớn tìm hiểu về nước mưa đã được tổ chức với nhiều vòng thi, trong đó

các lớp đã thành lập các đội kịch, các nhóm múa, tự sáng tác các tiết mục văn nghệ và tham gia cuộc thi với tất cả sự hứng khởi và yêu thích. Thông qua học sinh, thông điệp về sử dụng nước sạch, vệ sinh, bảo vệ môi trường và chăm sóc sức khỏe được lan tỏa tới bố mẹ, gia đình học sinh và được thực hành trong cả cộng đồng, ảnh hưởng tới cả những hoạt động thường nhật hay kế hoạch đầu tư dài hạn của chính quyền địa phương cho cấp nước và vệ sinh. Những hoạt động thiết thực trên dẫn đến những lợi ích về cải thiện điều kiện sức khỏe, vệ sinh và môi trường, với những lợi ích kinh tế lớn lao.

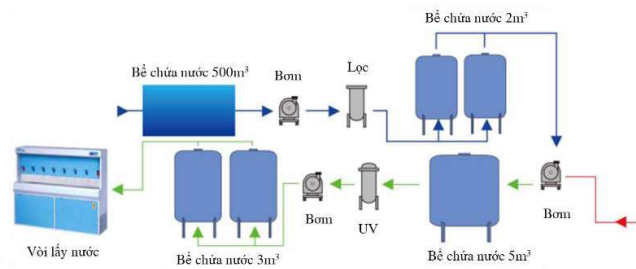
Tại Trường Đại học Tôn Đức Thắng, TP. Hồ Chí Minh, nhóm nghiên cứu đã lắp đặt hệ thống nước mưa dung tích 6 m³, cấp nước uống trực tiếp. Hệ thống gồm 4 bể chứa nối tiếp, mỗi bể 1,5 m³. Nước mưa từ mái được đưa qua thiết bị xả lọc đầu và đi vào bể thứ nhất thông qua ống chữ U, chảy qua dây bể, được cung cấp để uống sau khi lọc ngay tại điểm sử dụng.



Hình 1.31. Sơ đồ hệ thống thu nước mưa với chuỗi bể nối tiếp tại Trường Đại học Tôn Đức Thắng, TP. HCM

Trong khuôn khổ dự án hợp tác với Đại học Quốc gia Seoul (SNU) của Hàn Quốc, Viện Khoa học và Kỹ thuật Môi trường (IESE), Trường Đại học Xây dựng Hà Nội lắp đặt từ năm 2013 hệ thống thu gom, xử lý và tái sử dụng nước mưa phục vụ ăn uống. Nước mưa được thu gom từ mái nhà của Nhà thí nghiệm, diện tích xấp xỉ 500m², chảy theo các đường ống dẫn, thiết bị tách nước mưa đợt đầu, vào bể chứa. Cụm xử lý nước mưa bằng công nghệ lọc cát, lọc sỏi, hấp phụ với than hoạt tính, màng vi lọc (MF) kích thước khe rỗng 0,1µm, và khử trùng bằng ozone kết hợp UV, cho phép loại bỏ cặn lơ lửng, chất hữu cơ, kim loại nặng, các vi sinh vật gây bệnh trước khi cung cấp tới vòi nước uống.

Trong một dự án tiếp theo, hiện Viện Khoa học và Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, phối hợp với Trường Đại học Tổng hợp Seoul, Hàn Quốc (SNU) và Công ty Eco-Protect, Hàn Quốc, triển khai mô hình xử lý nước mưa và cấp nước uống trực tiếp với công nghệ ozone hiệu suất cao (H.O.P.S – High-density Ozone Water Production System). Hệ thống có công suất 5m³/h, được lắp đặt tại sảnh tầng 1 Nhà Thí nghiệm Trường ĐHXDHN.



Hình 1.32. Hệ thống xử lý nước mưa thành nước uống trực tiếp

Nước mưa được thu gom, đi qua bồn tách nước mưa đợt đầu, vào bể chứa 500m³. Hệ thống xử lý gồm lõi lọc sơ cấp, màng vi lọc MF 0,1μm, khử trùng hai bậc bằng ozone mật độ cao và đèn tia cực tím UV, cho phép loại bỏ hết tạp chất, tiêu diệt vi sinh vật gây bệnh. Sau khi làm mát, nước uống miễn phí được cấp qua các vòi tự động ở sảnh Nhà thí nghiệm. Nhóm nghiên cứu thường xuyên theo dõi, hiệu chỉnh, bảo trì, đánh giá hoạt động của hệ thống.



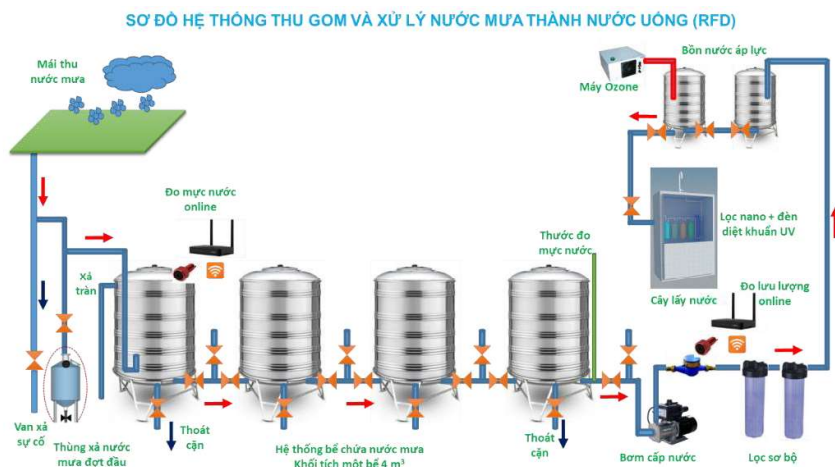
Hình 1.33. Sinh viên sử dụng nước uống trực tiếp, xử lý từ nước mưa
(Ảnh chụp từ camera giám sát hệ thống H.O.P.S)

Trung bình, mỗi ngày có khoảng 1000-2000 lượt cán bộ, nhất là sinh viên, sử dụng vòi nước uống. Đặc biệt, vào những ngày nắng nóng, có 4000-5000 lượt sinh viên sử dụng nước mỗi ngày.

1.9.2.2. Hệ thống thu gom nước mưa cho cơ sở y tế tuyến xã, huyện

Một số hệ thống thu gom, xử lý nước mưa, cấp nước uống trực tiếp đã được xây dựng do Tổ chức Y tế thế giới WHO, Cục Quản lý môi trường, Bộ Y tế, Trường Đại học Quốc gia Seoul, Hàn Quốc và Viện Khoa học và Kỹ thuật Môi trường (IESE), Trường Đại học Xây dựng Hà Nội thực hiện.

Năm 2019, hệ thống nước mưa cho Trung tâm Y tế huyện Lý Nhân, tỉnh Hà Nam được lắp đặt, cung cấp nước uống trực tiếp cho người khám chữa bệnh, người nhà và đội ngũ nhân viên y tế.



Hình 1.34. Sơ đồ hệ thống thu gom và xử lý nước mưa thành nước uống cho Trung tâm Y tế huyện

Nước mưa được thu gom từ mái các tòa nhà, diện tích khoảng 500 m², thông qua lưới chắn rác, máng thu gom và ống dẫn, tới bể chứa trung gian. Máng thu hình chữ nhật, kích thước 100 – 150 mm chiều rộng và 150 – 200 mm chiều cao, đặt dốc về phía hố tập trung nước mưa, độ dốc tối thiểu $i = 1\%$. Vật liệu máng bằng tôn hoặc inox. Lưới chắn rác trước hố tập trung nước mưa làm bằng thép không gỉ. Hố thu nước mưa tập trung trên mái có kích thước 300x300 - 400x400mm, được xây bằng gạch hoặc định hình bằng thép không gỉ, giúp việc thu nước mưa được thuận tiện. Trên đường ống đứng có bố trí van xả tràn. Bình chứa loại bỏ nước mưa đợt đầu, có phao nổi, dung tích 120 L, vật liệu thép không gỉ, có cửa quản lý và đường ống xả cặn bẩn. Có 4 bể chứa đứng nối tiếp, dung tích mỗi bể 4 m³. Các bể được lắp các đường ống chảy tắt, phòng trường hợp sửa chữa, thay rửa. Tại bể chứa, các chất cặn bẩn được lắng lại, đồng thời pH tự nhiên cũng sẽ được cân bằng. Từ bể chứa, nước mưa được bơm lên hệ thống xử lý sơ bộ đặt trên tầng mái tòa nhà nội trú, với cụm lọc sơ bộ, bể chứa nước sạch, cụm khử trùng bằng ozone, bơm tăng áp và đường ống để dẫn nước tới nơi sử dụng. Đồng hồ nước được lắp đặt cùng cụm bơm này. Cụm lọc sơ bộ gồm 2 cột lọc sợi 1μm, bể trung gian dung tích 2x500L, thiết bị tạo ozone. Ozone được đưa vào bồn chứa số 1. Thời gian chạy máy ozone được cài đặt tự động theo timer.

Tại các điểm sử dụng nước, hệ thống xử lý lần 2 được lắp đặt, gồm các bộ lọc hấp phụ, đèn UV khử trùng, để chất lượng nước đạt quy chuẩn nước ăn uống. 8 cây lấy nước uống trực tiếp được đặt tại các khu vực như: hành lang tòa nhà chữa bệnh nội trú, hành lang phòng khám,

phòng chụp X-quang, ... Tình trạng hoạt động của đèn UV được nhận biết dễ dàng qua tín hiệu đèn lắp tại cây lấy nước. Đèn mà xanh cho biết đèn UV đang hoạt động, nước có thể uống an toàn. Đèn đỏ báo không dùng nước uống trực tiếp, chỉ dùng trong sinh hoạt, và đã đến lúc phải thay bóng đèn UV. Lượng nước cấp cho ăn uống thực tế khoảng 50 m³/năm.



Bồn chứa nước mưa



Cụm bơm nước sinh hoạt



Bình xả lọc nước mưa đợt đầu



Bộ lọc sơ bộ



Hình 1.35. Các thành phần cơ bản của hệ thống thu gom, xử lý nước mưa, cấp nước uống trực tiếp tại Trung tâm Y tế huyện Lý Nhân, Hà Nam

Năm 2021, nhóm nghiên cứu Trường Đại học Xây dựng Hà Nội tiếp tục thực hiện Dự án lắp đặt hệ thống thu gom, xử lý, cung cấp nước mưa thành nước uống trực tiếp cho Trung tâm Y tế huyện Bắc Hà, tại xã Bảo Nhai, Bắc Hà, Lào Cai, công suất 200 L/ngày. Hệ thống có dây chuyền công nghệ tương tự như hệ thống đã lắp đặt tại Lý Nhân, Hà Nam. Là một Trung tâm y tế huyện miền núi, khám chữa bệnh cho đồng bào dân tộc thiểu số ở vùng khan hiếm nước, hệ thống nước mưa đưa vào sử dụng đã hỗ trợ rất nhiều cho hoạt động của Trung tâm, cung cấp nguồn nước uống ổn định và an toàn, được người dân và cán bộ y tế đánh giá rất cao.



Bồn chứa nước mưa và bồn xả nước mưa đợt đầu



Kết nước trên mẫu và máy tạo ozone



Cụm máy bơm và cột lọc sơ bộ



Cây nước cấp nước uống trực tiếp, đèn báo đèn UV hoạt động

Hình 1.36. Hệ thống thu gom, xử lý nước mưa, cấp nước uống trực tiếp tại Trung tâm Y tế huyện Bắc Hà, Lào Cai

1.9.2.3. Hệ thống thu gom nước mưa cho nhà chùa

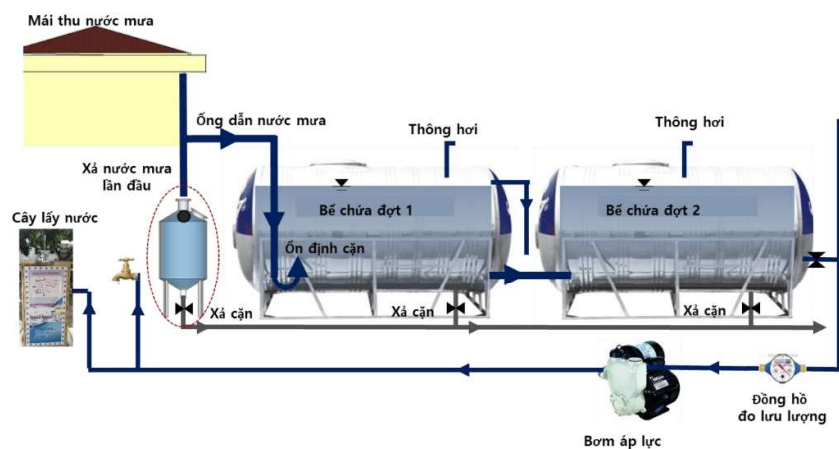
Hệ thống thu gom nước mưa tại Chùa Phương Nại, xã Yên Nhân, huyện Yên Mô, tỉnh Ninh Bình đã được Viện Khoa học và Kỹ thuật môi trường (IESE), Trường Đại học Xây dựng Hà

Nội kết hợp với các đối tác lắp đặt từ năm 2018. Cho đến nay, hệ thống vẫn hoạt động ổn định, cung cấp lượng nước lên tới hàng trăm m³ phục vụ ăn uống tại Nhà Chùa cũng như người dân xung quanh.

Hệ thống có thể cung cấp tới 250 – 300L nước ăn uống mỗi ngày, với chất lượng nước đảm bảo quy chuẩn. Sơ đồ nguyên lý hệ thống như trong hình vẽ. Nước mưa được thu gom từ mái Nhà Mẫu, qua lưới chắn rác, đường ống dẫn, tới khu vực bể chứa. Diện tích mái thu nước mưa khoảng 300 m², với bề mặt là các tấm ngói lợp và một phần mái bằng đồ bê tông. Hai bể chứa nối tiếp với dung tích mỗi bể 20 m³, bình xả nước mưa đợt đầu, thước đo mực nước, ống xả tràn và đồng hồ đo lưu lượng nước đã được lắp đặt. Dung tích bình xả nước lọc đầu khoảng 160 L. Nước mưa sau bình xả lọc đầu được đưa vào bể chứa 1 thông qua ống ổn định cặn lắng hình chữ U (calm-inlet) đặt bên trong bể chứa, tránh làm khuấy trộn lớp cặn đã lắng dưới đáy bể, từ đó giảm lượng cặn từ bể chứa thứ 1 sang bể chứa thứ 2. Bể chứa thứ 2 có tác dụng như bể lắng thứ cấp, loại bỏ các hạt cặn lơ lửng còn sót lại. Thước đo mực nước cũng được lắp đặt tại vị trí đầu bể chứa thứ 2, thông báo mực nước hiện tại trong bể chứa. Đồng hồ đo lưu lượng được lắp đặt tại vị trí đầu bể chứa thứ 2, để người quản lý nắm được tình hình sử dụng nước từng tháng trong năm, từ đó có phương án điều tiết lượng nước mưa trong bể chứa cho các mùa trong năm.

Để phục vụ nước ăn uống cho các hoạt động tại nhà Chùa, nước mưa được đưa tới 2 cây lấy nước thông qua bơm tự động bật/tắt theo cảm biến áp lực. Tại các cây lấy nước, hệ thống lọc với 3 lõi lọc nối tiếp và đèn khử trùng UV có gắn đèn báo trạng thái làm việc của đèn. Định kỳ, bồn chứa nước mưa đợt đầu được xả, mái thu và đường ống, lưới chắn được vệ sinh, bể nước được xả rửa, các lõi lọc và đèn UV được thay thế.

Bên cạnh số người sử dụng thường xuyên khoảng 15 người/ngày, Chùa Phương Nại còn là nơi diễn ra các hoạt động thiện nguyện, tu tập cho các Phật tử trong huyện và vùng lân cận. Hàng năm Nhà Chùa tổ chức các khóa tu tập vào mùa hè, tổ chức các sự kiện vào dịp lễ chính thống của đạo Phật, các lớp học miễn phí, nâng cao trình độ cho các học sinh tại địa phương và các cháu nhỏ ở tại Chùa. Với số lượng các Phật tử tới tham dự các khóa học hay hành pháp tại các dịp lễ tối đa lên tới 700-800 người, lượng nước uống được sử dụng nhiều và cần đảm bảo an toàn, vệ sinh, trong khi khu vực không thể khai thác được nước ngầm mạch sâu, nguồn nước ngầm mạch nông bị ô nhiễm, nguồn nước cấp từ trạm cấp nước nông thôn rất thiếu và chất lượng không đảm bảo, hệ thống thu gom, xử lý nước mưa thực sự đóng vai trò quan trọng để đáp ứng nhu cầu dùng nước cho Nhà Chùa.



Hình 1.37. Sơ đồ hệ thống thu gom và xử lý nước mưa tại Chùa Phương Nại, Ninh Bình



a/ Diện tích thu nước mưa



b/ Hệ thống bể chứa nước mưa



c/ Cây lấy nước uống trực tiếp



Hình 1.38. Hệ thống thu gom và xử lý nước mưa tại Chùa Phương Nại, Ninh Bình

Các mô hình thu gom, xử lý, cấp nước mưa cho ăn uống và sinh hoạt hay cho các mục đích khác xuất hiện ngày càng nhiều. Cần thiết ban hành một tài liệu Hướng dẫn kỹ thuật cho việc thu gom, xử lý, sử dụng nước mưa, sử dụng cho các bên liên quan (cơ quan quản lý, nhà

đầu tư, hộ gia đình, doanh nghiệp cung cấp vật tư thiết bị và lắp đặt, bảo trì hệ thống...). Thêm vào đó, những chính sách ưu đãi để thu hút những nhà đầu tư, doanh nghiệp tư nhân vào lĩnh vực này là rất cần thiết.

1.9.3. Thu nước mưa để cấp nước tưới và bổ cập nguồn nước ngầm

Tại các vùng nông thôn Việt Nam, việc dùng nước mưa để tưới rất phổ biến, với rất nhiều giải pháp phong phú như tận dụng diện tích và bề mặt thấm như ao hồ có sẵn; xây dựng và kết nối hệ thống kênh mương thủy lợi; xây dựng các đập chắn để dâng và trữ nước mưa; xây các hồ treo vách núi; ... Sử dụng các ao, hồ thu gom, điều hòa nước mưa, sử dụng các khu đất trũng để giữ nước cũng là các giải pháp sử dụng nguồn nước mưa trong nông nghiệp hiệu quả.

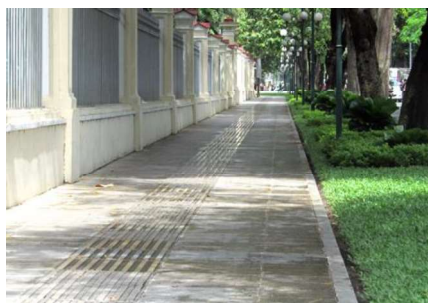
Tại nhiều đô thị Việt Nam, cũng xuất hiện ngày càng nhiều thảm cỏ, cây xanh, vườn hoa lớn nhỏ khác nhau, ở các khu vực công cộng, trong khuôn viên công trình xây dựng, hay trên vỉa hè. Các giải pháp này xanh hóa đô thị này cũng gắn với việc tăng cường khả năng thu giữ, thấm nước mưa, cung cấp nước tưới cho các mảng xanh, điều hòa vi khí hậu, cải tạo cảnh quan và bổ cập cho nguồn nước ngầm trong đô thị.



Hình 1.39. Lắp đặt mô-đun với các hộp thu giữ nước mưa và thấm dần, cấp nước tưới cho cây xanh ở thị xã Phú Mỹ, Bà Rịa – Vũng Tàu²⁶



²⁶ <https://baobariavungtau.com.vn/>



Hình 1.40. Các mảng xanh quý giá dọc vỉa hè ở TP. Hồ Chí Minh²⁷

Tính toán công trình thấm nước mưa được trình bày ở Chương 4.

²⁷ Ảnh: Vnexpress.net

CHƯƠNG 2. THIẾT KẾ, LẮP ĐẶT, VẬN HÀNH VÀ BẢO DƯỠNG HỆ THỐNG THU GOM NƯỚC MƯA ĐỂ CẤP NƯỚC CHO SINH HOẠT VÀ ĂN UỐNG

2.1. Thiết kế, lắp đặt hệ thống thu gom nước mưa

2.1.1. Thành phần, chức năng các bộ phận thu gom nước mưa

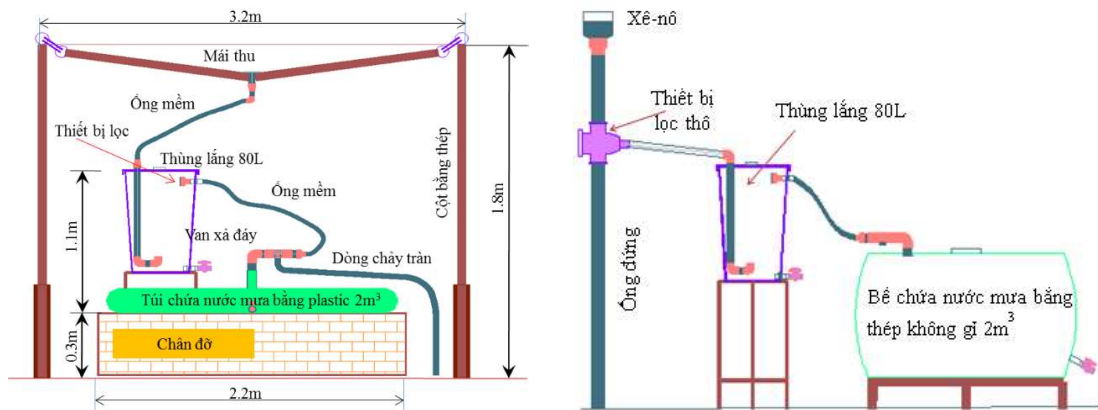
Hệ thống thu gom và sử dụng nước mưa thường bao gồm một số hay tất cả các thành phần sau:

- Bề mặt thu nước mưa, xê nô và máng dẫn, đường ống dẫn, lưới chắn rác.
- Thiết bị tách nước mưa đột đầu.
- Thiết bị lọc nước mưa.
- Bể trữ nước mưa bên dưới.
- Thiết bị xả tràn (bao gồm cả thiết bị chống chảy ngược).
- Bơm, bình khí ép và các thiết bị kèm theo.
- Thiết bị khử trùng (bằng tia cực tím – UV hay thiết bị khác).
- Hệ thống điều khiển điện.
- Két nước mưa trên mái (đối với sơ đồ dùng bơm gián tiếp và cấp nước tự chảy).
- Hệ thống đường ống phân phối và phụ kiện.
- Nguồn cấp nước chính bổ sung (khi hết nước mưa).
- Các thiết bị đo lường, báo hiệu mức nước.

2.1.2. Các sơ đồ hệ thống thu gom và sử dụng nước mưa

2.1.2.1. Sơ đồ tự chảy, bể ở dưới đất

Sơ đồ cấp nước tự chảy, bể ở dưới đất là sơ đồ rất phổ biến ở các vùng nông thôn của Việt Nam. Nước mưa được thu gom từ mái nhà, được lọc và sau đó lưu trữ trong bể chứa đặt dưới đất hoặc bể chứa ngầm. Để sử dụng nước mưa cho các hoạt động sinh hoạt và ăn uống, nước mưa được lấy từ bể bằng các gáo (ca) múc nước (bể chứa ngầm) hoặc bằng các vòi nước gắn ở đáy bể (bể nổi).

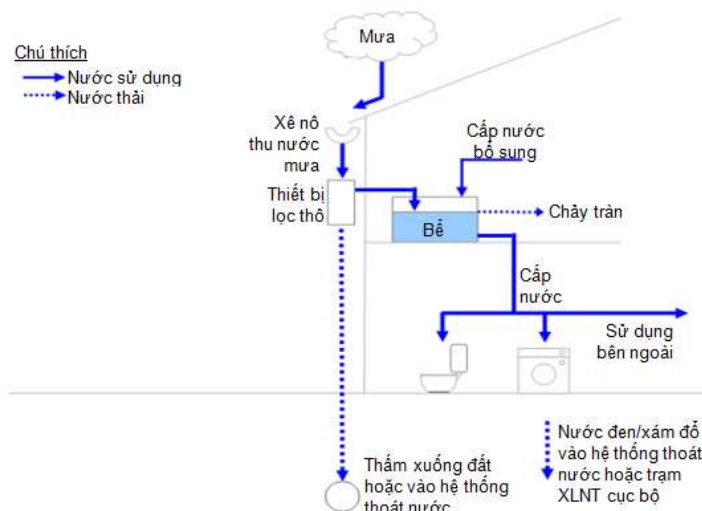


Hình 2.1. Sơ đồ hệ thống cấp nước mưa tự chảy, có bể trên mặt đất

Ưu điểm chính của hệ thống này là không cần điện, không cần bơm nên không cần chi phí điện năng để vận hành. Nhược điểm chính của hệ thống này là nước không thể tự chảy đến các thiết bị dùng nước trong hộ gia đình như máy giặt, vòi sen. Trong trường hợp này, cần thiết phải lắp đặt bơm tăng áp để bơm nước đến các thiết bị dùng nước. Đối với hoạt động ăn uống, dội rửa, nước phải được lấy từ các gáo múc nước để sử dụng.

2.1.2.2. Sơ đồ tự chảy, bể ở trên cao

Sơ đồ cấp nước tự chảy bể ở trên cao (Hình 3.2) có công trình lưu trữ nước mưa là kết nước trên mái, nằm trong khoảng trống dưới mái của công trình. Nước mưa được thu gom từ các mái nhà, được lọc và sau đó dẫn trực tiếp đến kết này. Nước được cấp đến các thiết bị nhờ trọng lực và kết nước lưu trữ phải cao hơn các thiết bị dùng nước ít nhất một mét. Kết nước mưa trên mái được bổ sung nước từ nguồn cấp nước sạch chính khi hết nước mưa. Nếu kết nước mưa đầy thì nước mưa thừa sẽ theo ống xả tràn đổ vào hố thấm hoặc vào cống thoát nước.



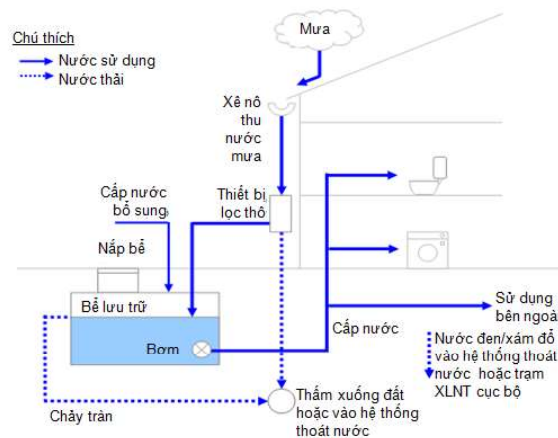
Hình 2.2. Sơ đồ thu gom và sử dụng nước mưa tự chảy

(Leggett, Brown et al. 2001)

Những ưu điểm chính của sơ đồ tự chảy là không cần bơm và hệ thống điện như đối với các sơ đồ dùng bơm trực tiếp và gián tiếp. Ngoài ra, không có máy bơm nên không có rủi ro hỏng bơm hoặc mất điện, và cũng không cần chi phí cho điện năng để vận hành bơm. Những nhược điểm chính là áp lực nước có thể sẽ thấp hơn so với nguồn cung cấp chính, dẫn đến hiệu suất kém của một số thiết bị, như chậm đầy kết nước bệ xí, một số máy giặt hiện đại có thể không hoạt động được. Trong trường hợp này, có thể bố trí bổ sung một máy bơm nhỏ hay bình khí ép để tăng áp lực nước. Tải trọng kết nước đặt trên cao cũng có thể ảnh hưởng đến kết cấu của ngôi nhà. Nguy cơ rò rỉ kết, hay sự phức tạp trong liên hệ về mặt áp lực giữa các bộ phận khác nhau của hệ thống (mái nhà, thiết bị lọc, kết nước, ...) là các trở ngại khác.

2.1.2.3. Sơ đồ cấp nước dùng bơm trực tiếp

Trong sơ đồ dùng bơm trực tiếp (Hình 3.3), nước mưa sau khi thu gom được lưu trữ trong bể chứa và sau đó được bơm trực tiếp đến các thiết bị dùng nước khi cần. Hệ thống này dùng nước trực tiếp, không có kết nước mưa trên mái, và cũng được cung cấp nước bổ sung từ nguồn cấp nước chính vào bể nước mưa. Nước bổ sung từ nguồn cấp nước chính không chảy vào đầy bể chứa nước mưa mà chỉ bổ sung để duy trì một lượng nước cần thiết nhỏ đủ để cấp cho các nhu cầu dùng nước. Nếu bể chứa nước mưa đầy, nước mưa thừa sẽ theo ống xả tràn đổ vào hố thấm hoặc vào cống thoát nước.



Hình 2.3. Sơ đồ thu gom và tái sử dụng nước mưa dùng bơm trực tiếp

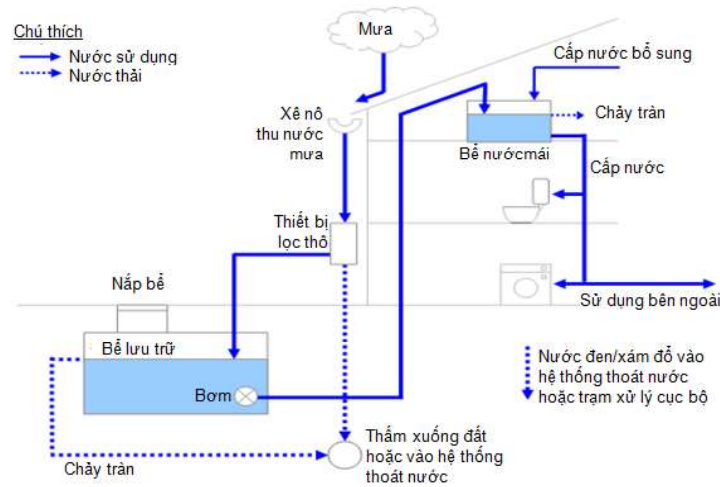
(Leggett, Brown et al. 2001)

Ưu điểm chính của sơ đồ dùng bơm trực tiếp là nước được cấp đến trực tiếp bằng máy bơm nên áp lực là lý tưởng cho các thiết bị dùng nước như vòi tưới cây, máy giặt, và không cần phải có kết nước mưa trên mái. Nhược điểm chính là nếu bơm không hoạt động (hỏng hóc hoặc mất điện) thì không cấp được nước đến các thiết bị dùng nước. Khi đó bệ xí phải dội nước thủ công, máy giặt không hoạt động được.

2.1.2.4. Sơ đồ cấp nước dùng bơm gián tiếp:

Sơ đồ của một hệ thống thu gom và sử dụng nước mưa dùng bơm gián tiếp trong hình 3.4. Nước mưa được lưu trữ trong một bể chứa và sau đó bơm vào một kết nước trên cao, đặt trên mái hoặc trong khoảng trống dưới mái nhà. Nước được phân phối xuống các thiết bị nhờ trọng lực. Kết nước mưa trên mái cần phải đặt cao hơn các thiết bị dùng nước ít nhất một mét. Nếu

bể chứa nước mưa bên dưới hết nước, kết nước mưa trên mái được cung cấp nước từ nguồn cấp nước sạch tập trung. Nếu bể chứa nước mưa bên dưới đầy thì nước mưa thừa sẽ theo ống xả tràn chảy vào hố thấm hoặc vào cống thoát nước.



Hình 2.4. Sơ đồ thu gom và sử dụng nước mưa dùng bơm gián tiếp

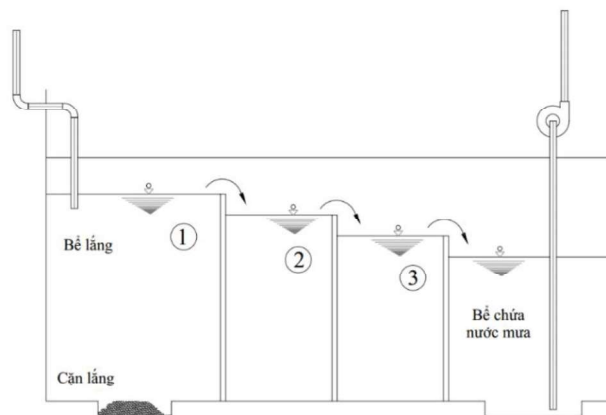
(Leggett, Brown et al. 2001)

Ưu điểm chính của sơ đồ dùng bơm gián tiếp là nếu bơm không hoạt động (bơm hỏng, mất điện), vẫn có nước cấp từ nguồn cấp nước sạch chính; chi phí máy bơm thấp; vận hành đơn giản. Những nhược điểm chính của sơ đồ này là áp lực cấp nước thấp do nước tự chảy từ kết trên mái với độ cao hạn chế. Điều này có thể dẫn đến việc nước chảy vào kết nước bể xí sẽ lâu đầy, hay hệ thống có thể không cung cấp đủ áp lực cho một số thiết bị dùng nước. Giải pháp giải quyết vấn đề áp lực thấp là sử dụng hệ thống kết hợp, có bơm điều áp hay bình khí ép để cấp nước cho máy giặt, tưới cây. Tuy nhiên điều này lại làm tăng thêm chi phí đầu tư, vận hành hệ thống. Một nhược điểm khác là yêu cầu kết cấu và kiến trúc phù hợp cho kết nước trên mái, hay không phải lúc nào cũng có không gian trong khoảng trống dưới mái nhà để đặt bể.

2.1.2.5. Sơ đồ cấp nước có ống lọc thô, ngăn lắng/lọc nước mưa, bể chứa dưới đất

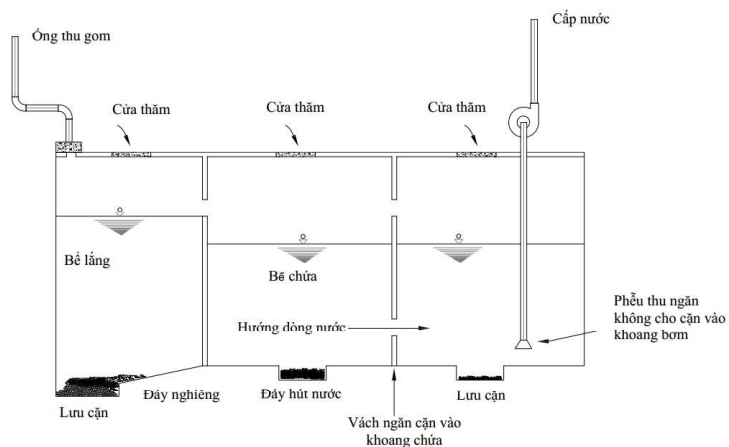
Sơ đồ này tương tự như sơ đồ cấp nước dùng bơm gián tiếp/trực tiếp; điểm khác biệt là bể chứa dưới đất có thêm ống lọc thô, ngăn lắng/lọc sỏi hoặc cát để cải thiện chất lượng nước mưa đã thu gom.

Ống lọc thô hay ngăn sơ lắng để tách cặn, cát được bố trí trước bể lắng. Thời gian lưu nước trong ngăn tách cặn 30-60 giây tính với lưu lượng lớn nhất. Thời gian lưu nước trong các ngăn lắng thường từ 1 đến 3 giờ. Với các bể xây, các ngăn lắng thường bố trí hợp khối, phía trước bể chứa nước mưa. Đáy của bể lắng cần có độ dốc hoặc có chỗ trũng để lắng đọng chất bẩn. Phải có cửa thăm để kiểm tra bên trong và loại bỏ cặn. Mỗi bể đều có tấm chặn nước ở ngay dưới ống nước vào để ngăn khi trời mưa lớn không cho dòng nước chảy mạnh làm khuấy trộn cặn bẩn đã lắng.



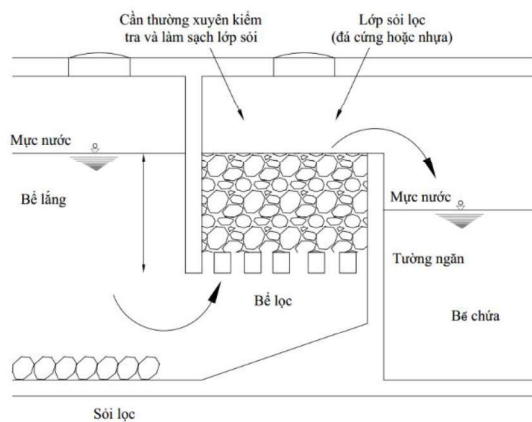
Hình 2.5. Bể lắng kết hợp với bể chứa nước mưa

(Murase và nnk. 1995)



Hình 2.6. Mô hình bể lắng kết hợp bể chứa dùng cho hộ gia đình

(Murase và nnk. 1995)



Hình 2.7. Mô hình bể lọc qua lớp sỏi kết hợp bể chứa

(Murase và nnk. 1995)

Các hạt cặn lơ lửng và keo có kích thước nhỏ không thể loại bỏ bằng quá trình lắng. Phương pháp hiệu quả hơn là lắp đặt một thiết bị lọc ngay cạnh bể lắng. Có thể bố trí thêm ngăn lọc sỏi, hay tấm lọc kim loại trước bể chứa. Chọn loại sỏi đường kính 40 – 60 mm. Độ dày lớp sỏi khoảng 70 cm. Trước khi cho vào bể, cần kiểm tra kỹ lớp sỏi lọc và rửa sạch các chất cặn bản tích tụ trên bề mặt lớp vật liệu lọc. Tấm lọc kim loại có hiệu quả cao, nhưng phải thường xuyên kiểm tra và làm sạch.

2.1.3. Thiết kế định hình các bộ phận trong hệ thống nước mưa

2.1.3.1. Diện tích và các loại vật liệu hệ thống thu nước mưa trên mái

Mái thu nước là một thành phần quan trọng trong hệ thống nước mưa. Mái thu ảnh hưởng đến cả trữ lượng và chất lượng nước, do việc thu gom nước mưa phụ thuộc vào kích thước mái và chất liệu mái. Hệ thống nước mưa trên mái nhà phổ biến nhất ở cấp hộ gia đình và cộng đồng, và nước có thể được sử dụng cho các mục đích sinh hoạt. Một lợi thế bổ sung khác là người dùng sở hữu, duy trì và kiểm soát hệ thống mái thu của họ, giảm sự phụ thuộc vào bên ngoài. Diện tích mái thu càng lớn càng tốt để tối đa hóa lượng nước mưa thu được.

Diện tích thu gom nước mưa được tính toán, lựa chọn theo diện tích mái của từng tòa nhà, công trình, những mái nhà có cấu tạo phù hợp cho công tác thu gom nước mưa. Nên tận dụng tối đa diện tích mái để thu nước mưa, nhằm mục tiêu thu gom đầy đủ lượng nước mưa từ các trận mưa có cường độ mưa bất kỳ. Đối với các công trình hộ gia đình, có mái dốc về hai phía, diện tích thu nước mưa có thể bị giảm. Để khắc phục, cần có ống kỹ thuật đầu nối, thu gom từ hai mái dốc của công trình.

Vật liệu của bề mặt mái hứng phải không độc hại, không chứa các chất làm suy giảm chất lượng nước. Bề mặt mái phải nhẵn, cứng và dày vì chúng dễ làm sạch và ít có khả năng bị hư hỏng và rơi vật liệu vào nước. Không nên để cây nhô cao gần mái nhà để tránh hiện tượng chim làm tổ trên cây, làm ảnh hưởng chất lượng nước mưa. Trong trường hợp mái nhà lợp fibro xi-măng hoặc mái lá, cần bố trí thêm mái hứng phụ để thu trữ nước mưa cho mục đích ăn uống và vệ sinh thiết yếu. Phần diện tích mái hứng sạch cần bổ sung thêm được ước tính: 3.2-5.4 m²/người, tương đương 10-20m²/hộ gia đình.

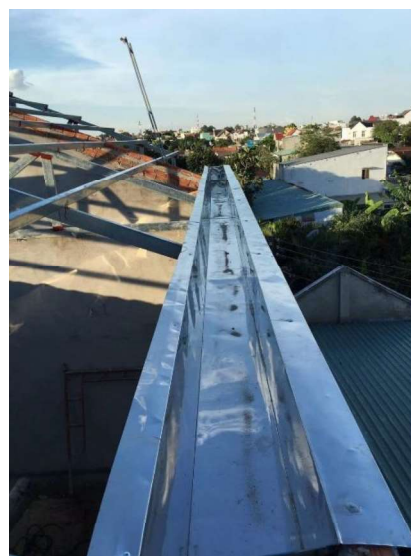
Bảng 2.1. Đặc điểm của các loại mái²⁸

Vật liệu mái thu	Hệ số dòng chảy	Ghi chú
Tấm tôn (thép mỏng mạ kẽm, có hoặc không có sơn phủ)	> 0.9	Chất lượng nước tốt. Bề mặt nhẵn và nhiệt độ cao giúp diệt khuẩn
Ngói (tráng men)	0.6 – 0.9	Chất lượng nước tốt từ ngói, gạch tráng men. Không tráng men có thể chứa nấm mốc. Rêu mốc có thể phát triển trong các mối nối, mạch vữa

²⁸ (<http://www.eng.warwick.ac.uk/dtu/rwh/components2.html>).

Tấm amiăng	0.8 – 0.9	Tấm mới cho chất lượng nước tốt Hơi xốp nên giảm hệ số nước chảy và các mái cũ có nấm mốc và rêu mốc
Hữu cơ (lợp lá tranh, lá cọ...)	0.2	Nước kém chất lượng (> 200 FC / 100ml) Độ đục cao do chất hữu cơ hòa tan

Hệ thống thu nước mưa trên mái bao gồm mái thu nước mưa, máng tập trung nước mưa. Vật liệu thường gắn với quá trình đầu tư xây dựng công trình. Vật liệu làm mái thường bao gồm tôn màu, ngói, gạch lát, sàn bê-tông, sàn bê tông có lán vỉa, sơn phủ chống thấm... Các vật liệu có khả năng gây ô nhiễm như tấm lợp sợi amiang không được sử dụng để thu nước mưa. Đối với máng thu nước mưa, các vật liệu thường dùng là tôn, inox hoặc nhựa PVC. Đây là các loại vật liệu dễ chế tạo, không gây ảnh hưởng tới chất lượng nước mưa và đảm bảo độ bền trong một thời gian dài.



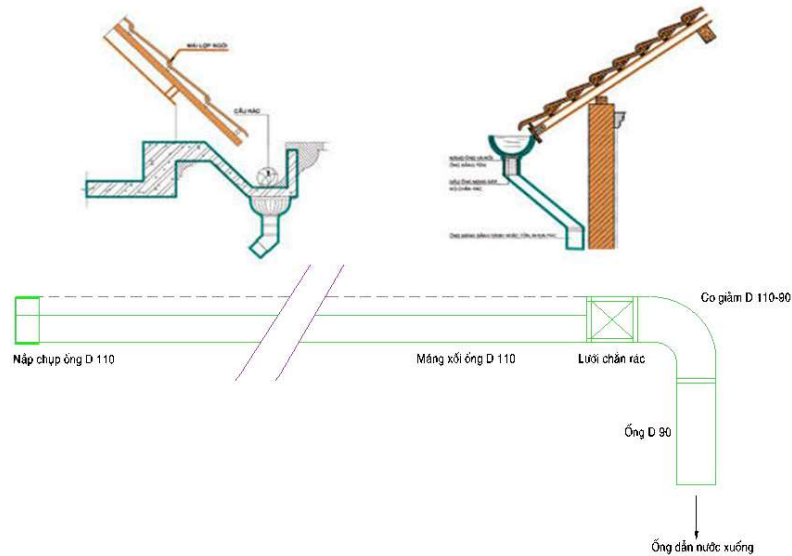
Hình 2.8. Mái và máng thu nước mưa

2.1.3.2. Hệ thống dẫn nước

Máng xối:

- Hệ thống máng xối nước từ mái giải quyết được việc gom nước trên mái thành dòng chảy xuống truyền dẫn vào bể chứa nước.
- Muốn có một hệ thống máng phù hợp với chức năng thoát nước của từng ngôi nhà thì cần được tính toán, cân nhắc về hình dáng, kích thước cũng như chất liệu. Và để có một hệ thống máng xối tốt, cần phải lưu ý:
 - + Kích thước được tính toán đủ để gom nước mưa cho diện tích mái nhà tương ứng.
 - + Có độ dốc tương thích với từng loại cấu tạo máng xối, bảo đảm thoát nước nhanh.
 - + Bảo đảm không thấm, nhất là tại các vị trí mối nối.

- + Có các màng ngăn, lưới chặn rác thích hợp, tránh rác lấp kín ở đường ống thoát. Đối với điều kiện cũng như vật liệu của Việt Nam, cách tốt nhất vẫn là nên có chế độ bảo trì, vệ sinh máng xối thường xuyên.



Hình 2.9. Máng xối

- *Cách tính sơ bộ máng xối và ống thoát nước mưa:* Máng xối thường có dạng nửa vòng tròn (hoặc hình chữ nhật, hình thang). Tính chiều rộng máng theo độ dài cung (tức là nửa chu vi) cho máng xối có độ dốc 5mm/m (độ dốc 5/1.000):
 - + Độ dài cung 0.16m có thể thoát nước cho 10m² diện tích mái.
 - + Độ dài cung 0.25m có thể thoát nước cho 50m² diện tích mái.
 - + Độ dài cung 0.33m có thể thoát nước cho 100m² diện tích mái.

Ống dẫn:

Ống dẫn nước mưa (tính trong trường hợp mưa giông lớn, nước có kèm bong bóng hơi, lá mục nhỏ, bụi...):

- + Ống có Φ (đường kính) 67 mm có thể thoát nước cho diện tích mái 40m².
- + Ống Φ 81 mm có thể thoát nước cho diện tích mái 50 – 70m².
- + Ống Φ 94 mm có thể thoát nước cho diện tích mái 70 – 100m².
- + Ống Φ 108 mm có thể thoát nước cho diện tích 100 – 150m².
- + Ống Φ 135 mm có thể thoát nước cho diện tích 150 – 200m².
- + Ống Φ 162 mm có thể thoát nước cho diện tích 200 – 300m².

2.1.3.3. Tiền xử lý nước mưa

Vệ sinh mái hứng

Vệ sinh mái hứng trước khi mùa mưa là công tác đặc biệt quan trọng trong việc thu trữ nước mưa. Công tác này giúp rửa trôi tất cả các lắng đọng khô tích lũy trên mái, giảm thiểu sự nhiễm bẩn nguồn nước mưa thu được.

Ngoài ra khi có những đợt hạn dài ngày (>15 ngày) trong mùa mưa thì cũng nên thực hiện vệ sinh mái hứng.

Công tác vệ sinh mái hứng bao gồm: phun nước rửa sạch mái, thu gom các chất bẩn đọng lại trên mái, máng xối, kiểm tra các cửa lấy nước.

Thiết bị lọc rác

Lưới lọc sơ bộ được bố trí ở đầu ống dẫn nước mưa về bể chứa (nơi kết nối với máng xối). Bộ phận này có tác dụng loại bỏ các tạp chất có kích thước lớn như: lá cây, mảnh vụn của mái nhà, rơm, bụi ... và một phần các chất ô nhiễm có nguồn gốc từ phân (chim, thằn lằn...). Ngoài ra một số thiết bị lọc sơ bộ cũng có thể được lắp đặt trước khi nước mưa đi vào bể chứa.

Lưới lọc có thể được làm bằng inox, nhựa,... Khi lắp đặt lưới lọc tại vị trí đầu trên máng xối cần chọn loại lưới có mắt lưới lớn hơn 2.5mm để đảm bảo thu gom hết lượng nước mưa trên mái nhà



Hình 2.10. Các ví dụ về song chắn rác thô

Bộ tách nước mưa đợt đầu

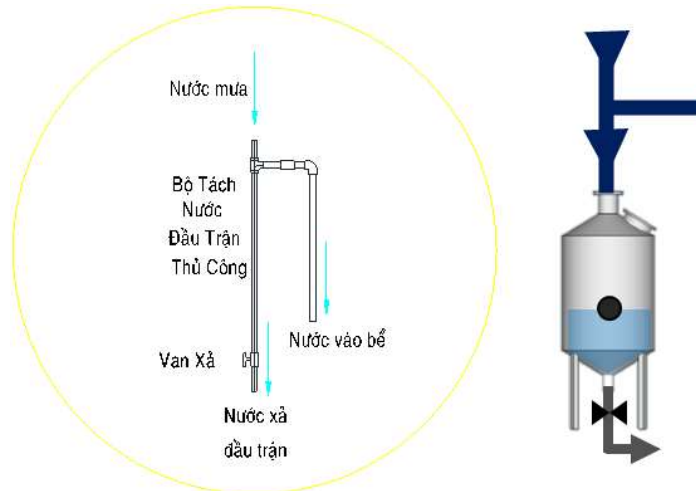
Đây là một bộ phận quan trọng trong công tác tiền xử lý nước mưa nhằm loại bỏ lượng nước mưa rửa trôi các chất bẩn trên mái nhà.

Có nhiều cách để tách nước bẩn đầu trận:

- Theo kinh nghiệm dân gian sau khi mưa khoảng 5-10 phút, quan sát thấy chất lượng nước tốt thì mới gắn ống dẫn chuyển nước mưa vào hệ thống;
- Làm sẵn một ống tháo ban đầu để nước mưa chảy ra ngoài hệ thống, quan sát thấy chất lượng nước tốt thì khóa van xả lại để nước mưa đi vào hệ thống;
- Bố trí bộ tách nước đầu trận: lượng nước cần tháo bỏ phụ thuộc vào trận mưa, chất liệu mái, thời gian thu nước,... Trong nghiên cứu này đề xuất lượng nước cần tháo trung bình là 3mm/trận mưa, tương ứng với 300l/100m².

Hình dưới đây trình bày một bộ tách nước rửa mái đơn giản nhất, vận hành hoàn toàn bằng thủ công. Van khóa luôn mở khi không có mưa, khi mưa bắt đầu nước mưa sẽ chảy ra khỏi hệ thống, khi quan sát thấy chất lượng nước tốt thì đóng van khóa lại để thu nước mưa.

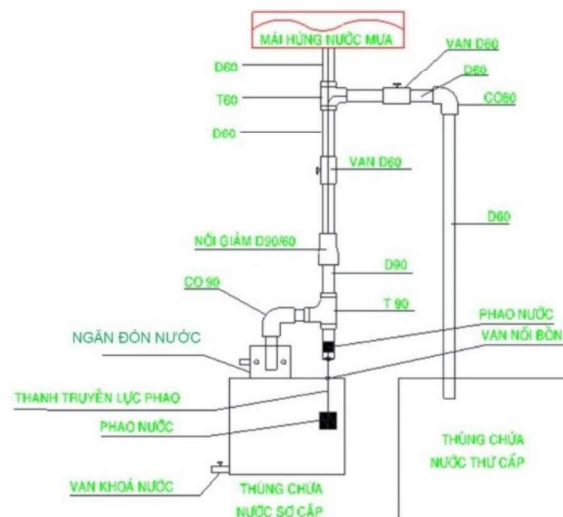
Hình tiếp theo trình bày bộ tách nước đầu trần đơn giản, ứng dụng cho các trường hợp có diện tích mái hứng nhỏ, lượng nước cần tháo bỏ ít. Trong trường hợp mái hứng lớn, lượng nước cần tháo nhiều hơn bình chứa thì cần vận hành thủ công bằng cách đóng mở van khóa.



Hình 2.11. Bộ tách nước mưa đợt đầu

(a) Thủ công; (b) Bán tự động (có quả bóng làm phao nổi)

Hình tiếp theo trình bày thiết kế định hình bộ tách nước đầu trần. Theo đó nước mưa ban đầu sẽ được đưa vào 1 thùng chứa phụ. Nước trong thùng phụ sẽ dâng lên đẩy phao nổi lên và đóng van khóa lại. Nước mưa sẽ được chuyển vào hệ thống khi lượng nước rửa mái đạt mức yêu cầu. Trong thiết kế này có bố trí bộ chia nước ở đầu vào thùng phụ, bộ phận này giúp cho việc giảm nhỏ đáng kể dung tích của thùng chứa phụ.



Hình 2.12. Thiết kế định hình bộ tách nước mưa đợt đầu, loại bán tự động

2.1.3.4. Bể chứa nước mưa

Vật liệu làm bể chứa nước mưa

Bể và kết cấu chứa nước mưa có thể được làm bằng nhiều vật liệu khác nhau. Yêu cầu vật liệu làm bể chứa nước mưa phải là vật liệu trơ để tránh ảnh hưởng đến chất lượng nước. Vật liệu phổ biến nhất, thường được dùng là bể nhựa (PE, HDPE), bê tông hay bê tông cốt thép, thép mạ kẽm, bể sành, bể xi măng lưới thép, bể xây gạch, bể composite cốt sợi thủy tinh (hình 3.14)...Vật liệu được lựa chọn làm bể chứa nước mưa phụ thuộc vào điều kiện thời tiết của từng nơi và phạm vi phục vụ của hệ thống thu gom.

Ở quy mô hộ gia đình, bể chứa nước mưa thường có dung tích nhỏ, dưới 10m³ nên vật liệu làm bể thường là bể sành, bể bê-tông, bể xây bằng gạch, bể nhựa, bể composite... Ở quy mô lớn hơn (thương mại, công cộng, dịch vụ...), bể chứa nước mưa có thể được làm từ bê-tông, bê-tông cốt thép, thép mạ kẽm, composite hay bể xây bằng gạch.



a) Bể sành



b) Túi chứa nước mưa plastic



c) Bể bằng gạch, tráng xi măng



d) Bể bê-tông cốt thép



e) Bể nhựa



f) Bể thép không gỉ

Hình 2.13. Một số vật liệu làm bể nước mưa phổ biến

Các bể làm bằng PE, HDPE có ưu điểm là nhẹ, giá thành tương đối thấp, tuổi thọ từ 15 đến 25 năm. Tuy nhiên, một nhược điểm đáng lưu ý của loại bể này là sau khoảng thời gian dài sử dụng, bể có thể bị nứt, vỡ gây rò rỉ nước và sẽ giải phóng ra một số chất độc; ảnh hưởng xấu đến chất lượng nước. Sau khoảng thời gian sử dụng khoảng 15 năm, vật liệu làm bể này có thể được tái sử dụng. Loại bể này có thể được áp dụng ở những nơi có điều kiện nhiệt độ <46°C. Lưu ý khi sử dụng loại bể này là phải tiến hành kiểm tra tuổi thọ của bể theo điều kiện nhiệt độ do một số nhà sản xuất thường khuyến cáo tránh lắp đặt bể trong điều kiện thời tiết quá nóng.

Vật liệu thép, thép mạ kẽm hoặc thép không gỉ là vật liệu phổ biến nhất hiện nay được sử dụng để chế tạo các bể chứa nước mưa. Tùy theo điều kiện thời tiết, bể thép mạ kẽm thường có tuổi thọ từ 5 – 20 năm. Để hạn chế tốc độ ăn mòn, người ta thường tráng thêm một lớp PE

bên trong bể. Nhược điểm lớn nhất của loại bể này là dễ xảy ra hiện tượng xước trên bề mặt, đẩy nhanh quá trình ăn mòn. Bể này thường không khuyến cáo sử dụng cho những hệ thống thu gom có bề mặt mái hứng làm từ mái tôn hay thép hợp kim nhôm kẽm, do nước mưa thu gom từ bề mặt này, khi chứa trong bể mạ kẽm, sẽ gây ra hiện tượng điện phân hay ăn mòn điện hóa, làm giảm tuổi thọ của bể.

Bể xây gạch hay đúc bằng bê-tông cốt thép cũng là một loại vật liệu làm bể rất phổ biến hiện nay. Các bể xây gạch hay bê-tông cốt thép có thể được đặt nổi hoặc xây chìm dưới đất. Bể có tải trọng lớn, yêu cầu kết cấu móng và bộ đỡ phù hợp. Không khuyến cáo xây dựng loại bể này tại những nơi có mực nước ngầm cao. Có thể tráng bên trong thành bể một lớp PE để tránh hiện tượng kiềm hóa và thấm nước.

Bể chứa nước mưa làm bằng composite cốt sợi thủy tinh có ưu điểm là bền, nhưng cho phép ánh sáng đi vào bể, tạo điều kiện cho tảo hay rong rêu phát triển trong bể nhiều hơn, do đó, các bể này cần phải được sơn màu tối. Vật liệu cốt sợi thủy tinh có xu hướng dễ vỡ, để lại các vết nứt trên thành bể. Loại bể này thường ít khi được đặt ngầm.

Cấu tạo bể chứa nước mưa

Yếu tố cản trở lớn nhất để phổ cập mô hình thu gom và sử dụng nước mưa, là chi phí xây dựng, lắp đặt bể nước mưa. Giá thành xây dựng, lắp đặt bể tùy thuộc vào thể tích, vật liệu chế tạo, cách bố trí bể nước mưa. Dung tích bể có thể từ 300 lít đến hàng chục, hàng trăm mét khối hoặc hơn. Bể nước mưa để cấp nước tưới vườn hộ gia đình cần dung tích tối thiểu từ 2 – 4 m³. Với hộ gia đình, có thể chọn loại thùng nhỏ, gọn, nối tiếp nhiều bể với nhau. Có thể kê cao chân bể, để áp lực nước có thể cấp tới vòi nước chậu rửa hay vòi tưới.

Để đáp ứng các nhu cầu ăn, uống tối thiểu, mỗi người cần 7,5 lít nước mỗi ngày. Để đáp ứng các nhu cầu sinh hoạt, vệ sinh cá nhân, tối thiểu mỗi người cần 15 - 20 lít nước mỗi ngày (WHO, 2013). Nếu nước mưa là nguồn nước cấp duy nhất, mỗi gia đình 4 người cần có một bể nước mưa dung tích hữu ích 30 m³ để có nước dùng quanh năm. Kinh tế nhất thường là bể làm bằng bê tông cốt thép, hay xây bằng gạch.

Tại các hộ gia đình, bể chứa nước mưa được thiết kế có nắp để tránh hiện tượng bốc hơi nước hay côn trùng xâm nhập làm giảm thể tích nước lưu trữ và ảnh hưởng đến chất lượng nước. Bể chứa nước mưa thường được đặt ở những nơi mát mẻ, tránh ánh sáng trực tiếp (để hạn chế sự phát triển của tảo). Ngoài ra, bể chứa nước mưa cần được lắp đặt ống để thoát dòng chảy tràn trong bể. Cấu tạo bể chứa nước mưa làm bằng PE sử dụng trong các hộ gia đình được trình bày trong bảng và thể hiện trong hình dưới đây.

Bảng 2.2. Cấu tạo bể chứa nước mưa tại các hộ gia đình

STT	Cấu tạo	Ghi chú
1	Thân bể	Vật liệu: gạch, sành, bê-tông, xi măng lưới thép, PE, HDPE, composite...
2	Van chính	Theo lưu lượng nước mưa thu gom được

3	Van xả dòng chảy tràn	Kích thước đường ống theo kích thước van chính
4	Ống thu nước vào bể	Ống PVC, khớp nối
5	Van xả đáy	Khớp nối, ống PVC, van
6	Thiết bị theo dõi mực nước trong bể	Ống acrylic, phao cảm ứng (hoặc phao cơ), cuộn dây
7	Ngăn lọc	Cát, than, lõi lọc sợi, ... (được lắp đặt trong một số trường hợp)



Hình 2.14. Cấu tạo bể chứa nước mưa cho hộ gia đình làm bằng PE

1 – Thân bể; 2 – Van lấy nước (van chính); 3 – Van xả dòng chảy tràn; 4 – Ống thu nước vào bể; 5 – Van xả đáy; 6 – Thiết bị đo mực nước trong bể.

Các bể chứa nước mưa bằng gạch xây hoặc bê tông cốt thép thường được xây dựng với thể tích lớn và chứa được một lượng nước mưa đủ lớn để sử dụng trong thời gian dài. Tuy nhiên, các bể chứa này thường đặt cố định và khó vệ sinh hơn so với các loại bể chứa khác.

Bể chứa nước mưa dạng giếng tròn đúc tại chỗ: Loại bể này hiện nay khá phát triển. Các cốt pha chế tạo sẵn giúp cho việc xây dựng bể thuận tiện và nhanh chóng. Kết cấu giếng tròn cho khả năng chịu lực cao, ít bị nguy cơ rò rỉ nước, dễ vệ sinh... Ở một số nơi, người dân hay dùng các ống cống bê-tông đúc sẵn, gắn thêm đáy và làm thêm nắp để sử dụng như bể chứa nước mưa với giá thành thấp.

Gần đây, nhiều loại bể chứa chế tạo bằng vật liệu mới đã được phát triển, với mục đích chứa đủ lượng nước mưa để sử dụng trong điều kiện không gian chứa bị hạn chế, hay cho phép vận chuyển, hay đóng/gấp lại khi không chứa nước. Đó là các bể dạng tấm lắp ghép, hay túi

chứa. Bể lắp ghép thường được làm bằng inox và ghép với nhau bằng ốc vít và gioăng cao su. Túi chứa thường được làm bằng chất dẻo. Bể lắp ghép, túi chứa có thể được vận chuyển, lắp đặt linh hoạt bằng giá đỡ hoặc lắp đặt dưới các tầng hầm, trên mái hay các tầng kỹ thuật của tòa nhà. Các túi chứa còn có thể được sử dụng để vận chuyển nước trong trường hợp khẩn cấp. Cần phải lưu ý về khả năng đảm bảo chất lượng nước, mùi nhựa, và độ bền của các túi chứa.

Không gian đặt bể

Thường có hai dạng bể chứa: đặt nổi và bố trí ngầm (đặt chìm). Bể ngầm tiết kiệm được không gian phía trên, nhưng khó dọn sạch, súc rửa, khó quản lý (kiểm tra mực nước, nguy cơ thấm, nước bắn tràn vào...). Thi công bể đặt chìm khó khăn hơn, liên quan đến khảo sát xây dựng, công tác làm móng và đào đất, kiểm soát mực nước ngầm và chống đẩy nổi khi xây dựng và khi sử dụng.

Giải pháp dùng bồn nhựa hay inox, đặt ngầm gần đây cũng hay được áp dụng. Cần lưu ý đánh giá địa chất công trình và hoạt tải trên sàn. Các loại tải này sẽ gây phụ tải lên thành bể, dễ gây biến dạng và hư hỏng. Phương án xây hầm bằng gạch hay bê tông, sau đó đặt bể nhựa hay inox vào trong, là phương án đảm bảo an toàn hơn cả. Bể gạch hay bể-tông ngầm, bọc inox bên trong, cũng có thể được áp dụng, mặc dù giá thành cao.

Nắp đậy và màng ngăn

Cần luôn đậy kín bể chứa nước mưa, tránh bụi, ánh sáng, muối (đặc biệt muối vôi gây bệnh sốt xuất huyết) và các loài động vật khác có thể thâm nhập vào bể, gây ảnh hưởng đến chất lượng nước mưa. Các bể chứa nước mưa lớn cần được thiết kế kín. Các điểm lấy nước cần được đóng kín sau khi sử dụng. Tại vị trí nước vào và nước chảy tràn của bể nên có tấm lưới hay màng ngăn để ngăn các bụi bẩn, côn trùng không vào được bể chứa. Màng ngăn có thể là

Kết nối giữa các bể chứa

Nên bố trí ít nhất 2 bể chứa nối tiếp, nhằm mục đích: (1) tăng hiệu suất lắng cặn; (2) linh hoạt trong sử dụng (khi bảo trì hệ thống). Bể chứa đầu tiên sẽ chứa nhiều cặn bẩn từ mái đưa xuống. Để hạn chế việc chuyển cặn bẩn sang các bồn chứa kế tiếp, cần bố trí miệng ống lấy nước cao hơn đáy bể. Tốt nhất là lắp ống lấy nước bằng nhựa dẻo, đầu miệng ống gắn với 1 phao nổi để treo miệng ống luôn sát với mặt nước trong bể đầu tiên. Bộ lọc nước có thể được bố trí giữa 2 bể chứa hay ở sau đáy bể.



Hình 2.15. Sơ đồ bố trí kết nối giữa các bể chứa nước mưa

Tính toán xác định dung tích bể chứa nước mưa

Có nhiều phương pháp tính toán dung tích bể chứa nước mưa. Các yếu tố ảnh hưởng đến việc xác định kích thước bể chứa nước mưa là: 1) Diện tích và đặc tính bề mặt thu gom nước mưa, 2) Mục đích sử dụng và phạm vi sử dụng nước mưa, 3) Điều kiện khí hậu địa phương.

Lượng nước mưa thu gom được mỗi năm:

$$Q = \sum R_i x A x C_r \text{ (lít)}$$

Trong đó:

R_i : lượng mưa trung bình hàng tháng (mm);

A : diện tích hứng nước mưa (m^2);

C_r : hệ số dòng chảy của bề mặt hứng nước mưa.

Bảng 3.3 thể hiện hệ số dòng chảy của các loại vật liệu bề mặt phủ khác nhau.

Bảng 2.3. Hệ số dòng chảy cho các loại bề mặt phủ khác nhau

Loại bề mặt thu gom	Hệ số dòng chảy
Mái nhà dốc	0.75 - 0.90
Mái bằng, bề mặt nhẵn	0.50
Mái bằng, với lớp sỏi hoặc đất trồng cỏ phủ trên bề mặt (<150mm)	0.40 - 0.50
Nhựa đường	0,70 - 0,85
Gạch	0,70 - 0,85
Bê tông	0,80 - 0,95
Các loại cây (từ thưa cho đến dày)	0,05 - 0,25

(Leggett, Brown et al. 2001)

Diện tích và đặc tính bề mặt hứng nước mưa cho phép xác định lưu lượng dòng chảy bề mặt thu gom được thông qua hệ số dòng chảy. Theo tính toán, đối với trận mưa tính toán có cường độ 1mm, bề mặt thu gom nước mưa có diện tích 1m² thì lượng nước mưa thu được có giá trị là 1L. Diện tích trung bình của bề mặt hứng nước mưa và dung tích bể chứa nước mưa tương ứng của một số nhà chức năng, với trận mưa tính toán có cường độ 50mm được trình bày trong bảng dưới đây:

Bảng 2.4. Diện tích trung bình của bề mặt thu gom nước mưa của một số loại nhà

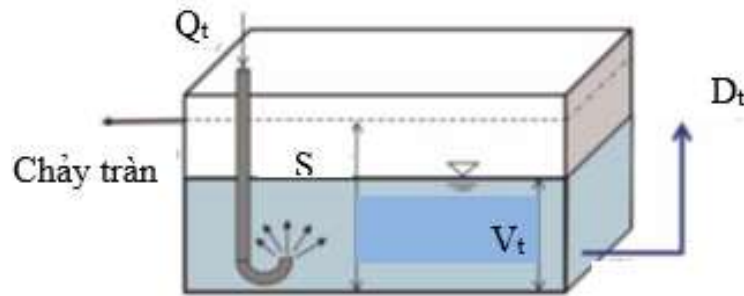
STT	Diện tích trung bình của bề mặt hứng nước mưa (kí hiệu: A)	Dung tích bể chứa nước mưa tương ứng (m ³)
1	Nhà để xe; A = 50 m ²	2.5
2	Hộ gia đình; A = 150 m ²	7.5
3	Hộ gia đình; A = 200 m ²	10
4	Hộ gia đình; A = 300 m ²	15

(Nguồn: [Australia Government 2012](#))

Một trong những phương pháp xác định dung tích bể chứa nước mưa được sử dụng là xác định biểu đồ tích lũy nước theo thời gian, với các biến thiên là dòng tích lũy đầu vào (lượng mưa) và tích lũy đầu ra (nhu cầu sử dụng nước).

Lượng nước mưa tích lũy ở thời điểm cuối khoảng thời gian t (V_t) được xác định theo lượng nước mưa tích lũy ở thời điểm đầu của khoảng thời gian t (V_{t-1}); lưu lượng nước vào bể trong khoảng thời gian t (Q_t) và nhu cầu dùng nước trong khoảng thời gian t (D_t); được biểu hiện trong công thức sau (Nguyen and Han 2014):

$$V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t$$



Hình 2.16. Sơ đồ dòng chảy trong bể chứa nước mưa

(Nguyen and Han 2014)

Nếu coi S là thể tích lưu trữ của bể chứa nước mưa, ta có mối quan hệ của S với biến thiên dòng tích lũy vào và tích lũy đầu ra được thể hiện trong biểu thức sau (Gould et al, 1999):

$$S \geq \text{Max} \left(\int_{t_1}^{t_2} [D_t - Q_t] dt \right)$$

Trong đó:

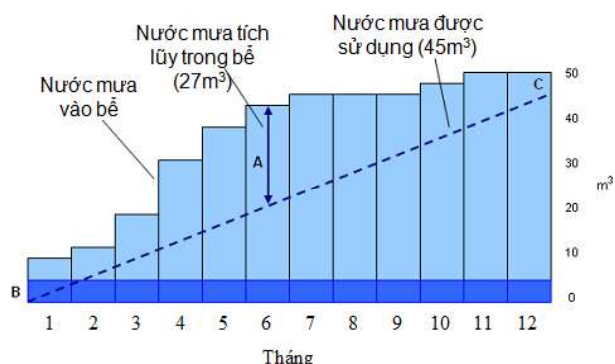
$$t_1 < t_2 ;$$

S : thể tích lưu trữ nước mưa (m^3);

D_i : nhu cầu dùng nước trong khoảng thời gian t (m^3);

Q_i : lưu lượng nước vào bể trong khoảng thời gian t (m^3).

Hình dưới đây minh họa bằng đồ thị một ví dụ tính toán (Gould et al, 1999, Ngô Hoàng Giang, 2012). A là thể tích tối thiểu để đạt hiệu quả tối đa, tức là lưu trữ và sử dụng 100% lượng mưa nước vào bể. Trong ví dụ này, A được xác định bằng $27m^3$. B là lượng nước lưu trữ có sẵn trong bể khi bắt đầu thời điểm tính toán (trường hợp này giả thiết là $5m^3$). C là lượng nước còn lại trong bể lưu trữ vào thời điểm cuối của giai đoạn tính toán (trường hợp này giả thiết là $5m^3$). Trong ví dụ này, các số liệu tổng hợp hàng tháng được sử dụng. Muốn chính xác hơn, có thể sử dụng các số liệu hàng ngày, hàng tuần.



Hình 2.19. Tính toán kích thước bể nước mưa bằng phương pháp biểu đồ tích lũy

(Gould et al, 1999, Giang N.H, 2012)

Tính toán dung tích bể nước mưa cấp nước cho ăn uống hộ gia đình:

Nhu cầu nước ăn uống được tính toán dựa trên lượng nước uống và lượng nước đun nấu hàng ngày. Theo một số nghiên cứu trên thế giới, lượng nước con người sử dụng để uống dao động từ 1,8 đến 5 lít/người/ngày (xem bảng dưới đây). Bên cạnh đó, lượng nước sử dụng cho nấu ăn cũng dao động từ 10 đến 50 L/người/ngày. Giá trị tối thiểu cho một người sử dụng trong một ngày được đề nghị ở mức 10 L/người/ngày.

Bảng 3. Lượng nước trung bình sử dụng cho mục đích uống của con người

Nguồn	Lượng nước uống trung bình, lít/người/ngày
Tổ chức Y tế thế giới (WHO)	2.5
Vinograd & Roth	2.5
White et al	1.8 đến 3.0
Cơ quan Bảo vệ môi trường Mỹ	2.0
Viện hàn lâm khoa học quốc gia Mỹ	2.0
Saunder and Warford	5

Với các hộ gia đình tại khu vực nông thôn, chọn số lượng người dao động từ 4 đến 8 người. Như vậy lượng nước sử dụng cho mục đích uống cho các hộ gia đình dao động từ 12,5 đến 15 L/hộ/ngày. Nhu cầu sử dụng nước cho mục đích ăn và uống cho một hộ gia đình được xác định như trong bảng dưới đây.

Bảng 4. Nhu cầu sử dụng nước cho ăn uống của hộ gia đình nông thôn

Số người trong một hộ gia đình	Lưu lượng nước cho uống (L/người/ngày)		Lưu lượng nước cho ăn uống (L/người/ngày)	
	Min	Max	Min	Max
4	12.5	15	50	60
5	12.5	15	62.5	75
6	12.5	15	75	90
7	12.5	15	87.5	105
8	12.5	15	100	120

Tính toán dung tích bể chứa nước mưa cho mục đích ăn uống

Nhiều phương pháp tính toán dung tích bể thu gom, lưu trữ nước mưa còn hạn chế trong cách lựa chọn hợp lý dung tích bể chứa nước mưa, chưa tính đến đặc tính mưa liên tục theo từng ngày trong các năm. Để tính toán tối ưu thể tích bể chứa nước mưa, có thể sử dụng chuỗi số liệu mưa theo ngày trong một giai đoạn dài (10 – 20 năm) và lập biểu đồ cân bằng với lượng nước sử dụng. Trường hợp một năm nào đó có số liệu mưa bất thường, lưu lượng mưa trung bình trong năm vượt quá lưu lượng mưa trung bình theo QCVN 02:2022/BXD, thì số liệu năm này sẽ không được đưa vào tính toán. Số ngày không được sử dụng nước mưa trong một năm (N_{ksd}) giả thiết bằng 0. Các thông số lựa chọn bao gồm: (1) lượng mưa thu gom được từ diện tích bề mặt thu gom (mái nhà); (2) lượng nước mưa đợt đầu được xả bỏ trong 10 phút đầu trận mưa; (3) thể tích nước mưa có thể lưu trữ và sử dụng trong một năm; (4) nhu cầu sử dụng nước mưa.

Thể tích bể được tính toán để cân bằng giữa hai yếu tố: giá thành xây dựng bể và số lượng ngày không được sử dụng nước. Nếu thể tích bể lớn, giá thành xây dựng tăng, trong khi số ngày không được sử dụng nước giảm. Ngược lại, số ngày không được sử dụng nước mưa tăng khi thể tích bể chứa nước mưa giảm.

Sử dụng phương pháp tính toán thử dần. Thể tích bể chứa sẽ được lựa chọn trước, sau đó tính toán số ngày không được sử dụng nước mưa. Thể tích được chọn khi số ngày không được sử dụng nước được coi là chấp nhận được, từ 0-5 ngày/năm.

$$V_{tl}^n = V_{bs}^n - V^{n-1} - V_{sd}^n \quad (L) \quad (L)$$

Trong đó:

V_{tl}^n : là thể tích tích lũy trong bể ngày thứ n (L).

V_{bs}^n : là lượng nước mưa bổ sung ngày thứ n (L) (không tính đến lượng nước mưa đợt đầu trong vòng 10 phút của mỗi trận mưa).

V^{n-1} là lượng nước còn lại trong bể chứa ngày thứ n-1 (L).

V_{sd}^n là lượng nước sử dụng trong ngày thứ n (L).

Nếu $V_{ti}^n < 0$ thì ngày đó được coi là ngày không có nước sử dụng và $N_{ksd} = 1$. Tổng số ngày không có nước trong năm được tính bằng phép cộng tất cả các ngày không có nước sử dụng.

Trên cơ sở dữ liệu mưa theo từng ngày trong năm, trong vòng 10 năm, cho các thành phố lớn như Hà Nội, Cần Thơ, Đà Nẵng hay từ 7 vùng khí hậu đại diện của Việt Nam như: Tây Bắc Bộ, Đông Bắc Bộ, Đồng bằng sông Hồng, Bắc Trung Bộ, Nam Trung Bộ, Tây Nguyên và Nam Bộ, thể tích bể chứa nước mưa sử dụng cho mục đích ăn và uống cho hộ gia đình được tính toán, xác định như trong bảng dưới đây, với diện tích mái là 50 m² và 100 m². Giả thiết mỗi hộ gia đình có 5 người; lượng nước sử dụng để uống là 2,5 L/người/ngày và 12,5 L/người/ngày để ăn và uống.

Bảng 5. Thể tích bể chứa nước mưa cho mục đích ăn uống tại các thành phố lớn và các vùng khí hậu của Việt Nam (đơn vị: lít)

Diện tích mái thu nước mưa (m2)	Lượng nước sử dụng L/người.ng.đ	Số người trong 1 hộ gia đình (người)	Lưu lượng nước cho 1 hộ gia đình (L/h gia đình.ng.đ)	Thể tích bể chứa nước mưa cho mục đích ăn uống tại các thành phố lớn và vùng khí hậu (L)									
				Hà Nội	Đà Nẵng	Cần Thơ	Tây Bắc Bộ	Đông Bắc Bộ	Đồng bằng sông Hồng	Bắc Trung Bộ	Nam Trung Bộ	Tây Nguyên	Nam bộ
Uống													
50	2.5	5	12.5	1,000	1,000	3,000	1,000	2,000	2,000	1,000	2,000	2,000	3,000
100	2.5	5	12.5	1,000	1,000	3,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	2,000	3,000
Ăn + uống													
50	12.5	5	62.5	10,000	7,000	10,000	10,000	10,000	10,000	3,000	10,000	10,000	10,000
100	12.5	5	62.5	7,000	7,000	10,000	10,000	7,000	7,000	2,000	10,000	10,000	10,000

Bảng 6. Thể tích bể chứa nước mưa cho mục đích ăn uống tại các hộ gia đình

Địa phương	Diện tích mái thu nước mưa (m²)	Lượng nước sử dụng L/hộ/ngày	Thể tích bể (L)	Tổng số ngày không được dùng nước trong 10 năm (ngày)	Số ngày không được dùng nước năm đầu tiên (ngày)	Số ngày không được dùng nước lớn nhất trong năm (ngày)	Số ngày không được dùng nước nhỏ nhất trong năm (ngày)	Số ngày không được dùng nước trung bình trong năm (ngày)
Hà nội	Uống							
	50	12.5	1,000	4	4	4	0	0
			2,000	4	4	4	0	0
			3,000	4	4	4	0	0
	100	12.5	1,000	4	4	4	0	0
			2,000	4	4	4	0	0
			3,000	4	4	4	0	0
	Ăn + uống							
	50	62.5	1,000	1005	80	139	54	101
			2,000	774	62	99	43	78

			3,000	660	46	80	38	61
			5,000	322	41	62	0	32
			7,000	116	41	42	0	12
			10,000	41	41	41	0	4
	100	62.5	1,000	652	53	103	28	65
			2,000	336	15	59	6	34
			3,000	190	6	40	0	19
			5,000	47	6	37	0	5
			7,000	11	6	6	0	1
			10,000	6	6	6	0	1

Lạng Sơn	Uống							
	50	12.5	1,000	22	17	17	0	2
			2,000	17	17	17	0	2
			3,000	17	17	17	0	2
	100	12.5	1,000	17	17	17	0	2
			2,000	17	17	17	0	2
			3,000	17	17	17	0	2
	Ăn + uống							
	50	62.5	1,000	940	97	150	60	94
			2,000	618	63	116	27	62
			3,000	434	30	84	0	44
			5,000	167	17	46	0	17
			7,000	51	17	22	0	5
			10,000	17	17	17	0	2
	100	62.5	1,000	608	83	115	28	61
			2,000	261	50	69	3	26
			3,000	128	20	49	0	13
			5,000	45	17	17	0	5
			7,000	17	17	17	0	2
			10,000	17	17	17	0	2

Hòa Bình	Uống							
	50	12.5	1,000	8	4	4	0	1
			2,000	4	4	4	0	0
			3,000	4	4	4	0	0
	100	12.5	1,000	4	4	4	0	0
			2,000	4	4	4	0	0
			3,000	4	4	4	0	0
	Ăn + uống							
	50	62.5	1,000	1066	97	126	86	107
			2,000	805	81	93	60	81
3,000			641	65	82	33	64	
5,000			350	48	65	0	35	
7,000			118	48	48	0	12	

			10,000	48	48	48	0	5
	100	62.5	1,000	752	77	103	40	75
			2,000	444	43	77	19	44
			3,000	276	26	71	0	28
			5,000	107	11	50	0	11
			7,000	26	11	15	0	3
			10,000	11	11	11	0	1
Nam Định	Uống							
	50	12.5	1,000	12	3	9	0	1
			2,000	3	3	3	0	0
			3,000	3	3	3	0	0
	100	12.5	1,000	3	3	3	0	0
			2,000	3	3	3	0	0
			3,000	3	3	3	0	0
	Ăn + uống							
	50	62.5	1,000	964	57	135	57	97
			2,000	723	39	100	39	73
			3,000	541	27	75	27	54
			5,000	513	27	40	0	21
			7,000	34	27	27	0	3
			10,000	27	27	27	0	3
	100	62.5	1,000	543	18	100	18	55
			2,000	264	3	62	3	27
			3,000	129	3	31	0	13
			5,000	25	3	22	0	3
			7,000	3	3	3	0	0
			10,000	3	3	3	0	0
Nghệ An	Uống							
	50	12.5	1,000	1	1	1	0	0
			2,000	1	1	1	0	0
			3,000	1	1	1	0	0
	100	12.5	1,000	1	1	1	0	0
			2,000	1	1	1	0	0
			3,000	1	1	1	0	0
	Ăn + uống							
	50	62.5	1,000	503	41	76	21	50
			2,000	137	1	48	0	14
			3,000	1	1	1	0	0
			5,000	1	1	1	0	0
			7,000	1	1	1	0	0
			10,000	1	1	1	0	0
	100	62.5	1,000	209	8	34	8	21
			2,000	4	1	3	0	0

			3,000	1	1	1	0	0
			5,000	1	1	1	0	0
			7,000	1	1	1	0	0
			10,000	1	1	1	0	0
Đà Nẵng	Uống							
	50	12.5	1,000	4	4	4	0	0
			2,000	4	4	4	0	0
			3,000	4	4	4	0	0
	100	12.5	1,000	4	4	4	0	0
			2,000	4	4	4	0	0
			3,000	4	4	4	0	0
	Ăn + uống							
	50	62.5	1,000	795	63	112	29	80
			2,000	475	35	83	0	48
			3,000	321	29	66	0	32
			5,000	113	29	32	0	11
			7,000	29	29	29	0	3
			10,000	29	29	29	0	3
	100	62.5	1,000	575	36	90	24	58
			2,000	285	16	57	6	29
			3,000	135	4	41	0	14
			5,000	11	4	7	0	1
			7,000	4	4	4	0	0
			10,000	4	4	4	0	0
Pleiku	Uống							
	50	12.5	1,000	293	33	54	0	29
			2,000	33	33	33	0	3
			3,000	33	33	33	0	3
	100	12.5	1,000	225	33	53	0	23
			2,000	33	33	33	0	3
			3,000	33	33	33	0	3
	Ăn + uống							
	50	62.5	1,000	1223	110	169	84	122
			2,000	1032	93	151	54	103
			3,000	869	77	135	37	87
			5,000	548	74	84	5	55
			7,000	293	74	74	0	29
			10,000	96	74	74	0	10
	100	62.5	1,000	113	99	155	60	111
			2,000	892	67	139	43	89
			3,000	716	50	121	21	72
			5,000	416	50	84	0	42
			7,000	208	50	54	0	21

			10,000	56	50	50	0	6
Khánh Hòa	Uống							
	50	12.5	1,000	28	18	18	0	3
			2,000	18	18	18	0	2
			3,000	18	18	18	0	2
	100	12.5	1,000	6	6	6	0	1
			2,000	6	6	6	0	1
			3,000	6	6	6	0	1
	Ăn + uống							
	50	62.5	1,000	1301	143	166	81	130
			2,000	917	134	148	28	92
			3,000	693	134	134	6	69
			5,000	449	134	134	0	32
			7,000	259	134	134	0	26
			10,000	151	134	134	0	15
	100	62.5	1,000	995	103	130	49	96
			2,000	568	84	104	11	57
			3,000	385	81	88	0	39
			5,000	191	81	81	0	10
			7,000	101	81	81	0	10
10,000			81	81	81	0	8	
Vũng Tàu	Uống							
	50	12.5	1,000	538	102	102	0	54
			2,000	122	102	102	0	12
			3,000	102	102	102	0	10
	100	12.5	1,000	499	102	102	0	50
			2,000	122	102	102	0	12
			3,000	102	102	102	0	10
	Ăn + uống							
	50	62.5	1,000	1432	135	173	99	143
			2,000	1262	119	157	79	126
			3,000	1092	109	139	60	109
			5,000	797	109	109	28	80
			7,000	512	109	109	0	51
			10,000	202	109	109	0	20
	100	62.5	1,000	1321	128	162	84	132
			2,000	1121	112	143	63	112
			3,000	955	102	134	47	96
			5,000	660	102	102	14	66
			7,000	412	102	102	0	41
10,000			102	102	102	0	16	
Bạc Liêu	Uống							
	50	12.5	1,000	387	106	106	0	39

	100	12.5	2,000	116	106	106	0	12
			3,000	106	106	106	0	11
			1,000	340	106	106	0	34
			2,000	107	106	106	0	11
			3,000	106	106	106	0	11
	Ăn + uống							
	50	62.5	1,000	1151	157	157	65	115
			2,000	955	140	140	37	96
			3,000	805	126	138	20	81
			5,000	530	126	126	0	53
			7,000	344	126	126	0	34
			10,000	154	126	126	0	15
	100	62.5	1,000	1042	136	147	53	104
			2,000	828	118	138	22	83
			3,000	679	112	128	5	68
			5,000	445	112	112	0	45
			7,000	275	112	112	0	28
			10,000	128	112	112	0	13

Cần Thơ	Uống							
	50	12.5	1,000	241	31	88	0	24
			2,000	39	31	31	0	4
			3,000	31	31	31	0	3
	100	12.5	1,000	177	30	76	0	18
			2,000	30	30	30	0	3
			3,000	30	30	30	0	3
	Ăn + uống							
	50	62.5	1,000	1074	97	156	48	107
			2,000	875	88	134	27	88
			3,000	727	88	133	27	73
			5,000	474	88	105	0	48
			7,000	275	88	88	0	28
			10,000	113	88	88	0	11
	100	62.5	1,000	996	79	154	36	97
			2,000	741	71	132	17	74
			3,000	591	71	128	0	59
			5,000	395	71	96	0	36
7,000			202	71	71	0	20	
10,000			87	71	71	0	9	

Nhận xét:

Trong 7 vùng khí hậu tại Việt Nam, thể tích bể chứa cần thiết tại Bắc Trung Bộ có giá trị thấp nhất. Ngược lại, thể tích bể chứa nước mưa cần thiết tại vùng Nam Bộ có giá trị lớn nhất.

Thời điểm xây dựng hoặc lắp đặt bể chứa nước mưa ảnh hưởng tới số ngày không được sử dụng trong năm đầu tiên. Do đó nên xây dựng hoặc lắp đặt bể chứa nước mưa từ thời điểm trước mùa mưa. Thời điểm tháo rửa bể chứa nước mưa cũng nên bắt đầu trước mùa mưa, cuối tháng 4 hoặc đầu tháng 5.

Số ngày không được sử dụng nước thường tập trung vào các tháng đầu năm, từ tháng 1 tới tháng 4. Do đó vào những tháng này, nên có kế hoạch sử dụng nước tiết kiệm hoặc bổ sung nguồn nước ăn uống từ các nguồn khác như nước đóng chai, nước máy vv...

Đối với khu vực công cộng, tùy thuộc vào tính chất công năng của công trình là trường học, văn phòng, khu thương mại, trạm y tế hay khu vui chơi giải trí, nhu cầu sử dụng nước cho mục đích ăn uống sẽ có giá trị khác nhau. Đối với các công trình công cộng như trường học, trạm y tế, trụ sở ủy ban nhân dân, nhu cầu sử dụng nước ăn uống, sinh hoạt được xác định theo tiêu chuẩn dùng nước bên trong công trình TCVN 4513: 1988. Cấp nước bên trong công trình – Tiêu chuẩn thiết kế. Nhu cầu sử dụng nước cho ăn uống được lấy từ các dự án do nhóm nghiên cứu của Trường Đại học Xây dựng Hà Nội đã thực hiện.

Bảng 7. Tiêu chuẩn dùng nước trong các công trình công cộng

STT	Chức năng công trình	Đơn vị dùng nước	Tiêu chuẩn dùng nước ăn uống (L/người/ngày)	Tiêu chuẩn dùng nước sinh hoạt (L/người/ngày)****
1	Trung tâm y tế	1 bệnh nhân	1*	15
2	Trường học	1 học sinh	0.6**	15 đến 20
3	Trụ sở cơ quan hành chính	1 cán bộ	1.5***	10 đến 15
4	Trung tâm thương mại	1 người	-	15

* Dự án cấp nước uống cho Trung tâm Y tế huyện Lý Nhân, Hà Nam và Trung tâm Y tế

Diện tích mái thu nước mưa (m ²)	Lượng nước sử dụng (L/ngày)	Thể tích bể chứa nước mưa tại các thành phố lớn và các vùng khí hậu (đơn vị: Lít)									
		Hà Nội	Đà Nẵng	Cần Thơ	Tây Bắc Bộ	Đông Bắc Bộ	Đồng bằng sông Hồng	Bắc Trung Bộ	Nam Trung Bộ	Tây Nguyên	Nam Bộ
100	100	10,000	7,000	10,000	10,000	10,000	10,000	7,000	10,000	14,000	14,000
200	100	5,000	5,000	7,000	5,000	5,000	5,000	5,000	7,000	14,000	14,000
300	100	5,000	5,000	5,000	7,000	5,000	5,000	5,000	7,000	12,000	14,000
200	150	10,000	10,000	10,000	14,000	10,000	10,000	7,000	14,000	20,000	20,000
300	150	10,000	7,000	10,000	12,000	7,000	7,000	5,000	12,000	19,000	19,000
200	200	19,000	14,000	12,000	20,000	15,000	16,000	14,000	21,000	27,000	27,000
300	200	14,000	12,000	10,000	18,000	12,000	12,000	10,000	18,000	26,000	26,000

huyện Bắc Hà, Lào Cai.

** Dự án cấp nước uống cho trường THCS và PTCS Đại Cương, Kim Bảng, Hà Nam.

*** Dự án cấp nước uống cho cơ quan hành chính tại xã Đại Cương, Kim Bảng, Hà Nam.

**** TCVN 4513: 1988. Cấp nước bên trong công trình – Tiêu chuẩn thiết kế.

Bảng 9. Thể tích bể chứa nước mưa cho mục đích để uống tại các công trình công cộng

2.1.3. Thi công lắp đặt hệ thống nước mưa

Hệ thống thu gom nước mưa ở quy mô hộ gia đình với bể xả nước mưa đợt đầu và bể chứa nước mưa được lắp đặt theo các bước như trong hình 2.6 dưới đây.



a) Lắp đặt xê-nô và kiểm tra mái thu



b) Lắp đặt ống tách nước mưa đợt đầu



c) Gắn van đáy xả nước mưa đợt đầu



d) Lắp đặt thiết bị lọc thô



e) Chọn vị trí đặt bể chứa nước mưa



f) Lắp túi nước mưa plastic



g) Lắp đặt đường ống



h) Gắn thiết bị đo mực nước trong bể chứa

Hình 2.20. *Trình tự lắp đặt hệ thống thu gom nước mưa ở quy mô hộ gia đình*

Bể chứa nước mưa cần được lắp đặt đúng kỹ thuật để hạn chế chất bẩn như bụi, lá cây, rác, vật cản, côn trùng....và tránh sự xâm nhập của muỗi trong quá trình vận hành. Khi lắp đặt các bể ngầm, cần chú ý tránh sự xâm nhập của dòng chảy bề mặt hay các mạch nước ngầm. Bể chứa nước mưa phải được đặt ở vị trí có khoảng cách an toàn với các công trình vệ sinh (tùy theo mục đích sử dụng).

Không được phép kết nối bể chứa nước mưa với đường ống cấp nước tập trung từ thành phố, để tránh gây ra những rủi ro về bùng phát dịch bệnh lây truyền qua đường nước. Ở các khu vực sử dụng nước mưa phổ biến, thường có quy định phải lắp các thiết bị chống chảy ngược nước mưa vào hệ thống cấp nước trong công trình.

Bể chứa nước mưa được lắp đặt thêm nắp chống thấm và tại tất cả các điểm lấy nước (trừ đường ống vào và ra) để bảo vệ bể khi không sử dụng. Lưới bảo vệ cũng được đặt tại cửa thu nước và ống xả tràn để tránh sự xâm nhập của muỗi và côn trùng. Tránh chiếu ánh sáng trực tiếp vào bể để hạn chế tối đa sự sinh trưởng và phát triển của tảo, rong rêu; gây ảnh hưởng xấu đến chất lượng nước. Dòng chảy bề mặt hoặc nước xả tràn từ bể có thể được xả trực tiếp ra các khu vườn hoặc ra hệ thống tiêu thoát nước của tiểu khu. Ống thu nước vào bể cần được đặt thẳng đứng để tối ưu hóa và đảm bảo nước chảy vào đầu bể là nước sạch.

2.2. Vận hành và bảo dưỡng hệ thống thu gom nước mưa

Cần thường xuyên kiểm tra và làm sạch mái nhà, hệ thống thu gom, xử lý nước mưa. Đường ống cấp nước và vòi sử dụng nước, bể và cụm lọc, mái và máng xối, cần được kiểm tra thường xuyên.

Các nguy cơ ô nhiễm chủ yếu là từ phân động vật hoặc chim đẻ lại trên mái nhà và máng dẫn. Hàng tuần cần kiểm tra mái nhà, máng dẫn, dọn sạch rác, bụi, cây cỏ dại và rêu nấm. Bề mặt mái thu và xê-nô nên được làm sạch thường xuyên.

Kiểm tra thường xuyên thiết bị tách rác, thiết bị xả nước mưa đợt đầu để đảm bảo thiết bị làm việc tốt. Không cần khử trùng hoặc lọc nước mưa nếu không dụng nước mưa cho ăn uống.

Bể chứa cần phải được che phủ và lưới chắn để loại trừ triệt để muỗi, chim và động vật. Lưới chắn cần được kiểm tra thường xuyên. Cần có đường ống dẫn nước mưa chảy tràn ra vườn, rãnh thấm hoặc mạng lưới tiêu thoát nước mưa. Xả kiệt, làm sạch cạn đáy bể định kỳ (mỗi năm một lần). Lắp van xả đáy cho bể nước mưa. Che chắn bể nước mưa khỏi ánh sáng mặt trời để ngăn tảo phát triển và ngăn bụi.

Sau khoảng thời gian 1 năm, bể chứa nước mưa cần được thau rửa; cặn lắng tích lũy trong bể cần được đưa ra ngoài nhờ ống và van xả cặn. Cặn tích lũy dưới đáy bể chính là nguyên nhân làm cho nước có mùi vị lạ và nhiễm bẩn. Cặn có thể được xả ra ngoài mà không cần rút hết nước trong bể theo nguyên lý xi-phông. Hệ thống xả cặn bao gồm một phễu ngược đặt ở cuối ống xả cặn chuyển động qua đáy bể để hút cặn và nước ở phần đáy bể. Có thể sử dụng ống xi-phông có đường kính 50mm để xả cặn trong bể. Các phương pháp xả cặn khác là dùng bơm để bơm cặn và nước ở đáy bể hoặc xả cặn theo đường ống thoát trong quá trình thau rửa bể.

Hạn chế sử dụng các hóa chất tẩy rửa vì các tác nhân này sẽ làm giảm chất lượng nước. Sau khi thau rửa bể, cần làm sạch thành bên trong bể bằng nước sạch trước khi lưu trữ nước mưa cho lần tiếp theo.

Theo dõi trữ lượng nước

Vì hầu hết các bể chứa nước mưa không trong suốt nên người dùng khó theo dõi mực nước trong bể trong khi việc tiêu thụ vẫn đang diễn ra. Trong hầu hết các trường hợp, người sử dụng chỉ nhận ra mực nước đã giảm khi nước ngừng chảy ra khỏi vòi, tức là đã quá muộn. Ngoài ra, việc phải trèo lên bể và kiểm tra mực nước bằng cách mở nắp bể là rủi ro, vì trẻ nhỏ có thể phải thực hiện nhiệm vụ này khi không có người lớn. Hơn nữa, ở hầu hết các khu vực nông thôn, dữ liệu lượng mưa địa phương, là dữ liệu đầu vào cần thiết để xác định một thiết kế hệ thống nước mưa hiệu quả, không có sẵn.

Do đó, các quyết định quản lý và bảo trì cần được thực hiện với việc thu thập dữ liệu đầy đủ: đồng hồ đo nước hoặc thước đo mực nước, số liệu phân tích chất lượng nước, cũng như các thiết bị đo mưa, các hướng dẫn kỹ thuật có liên quan.

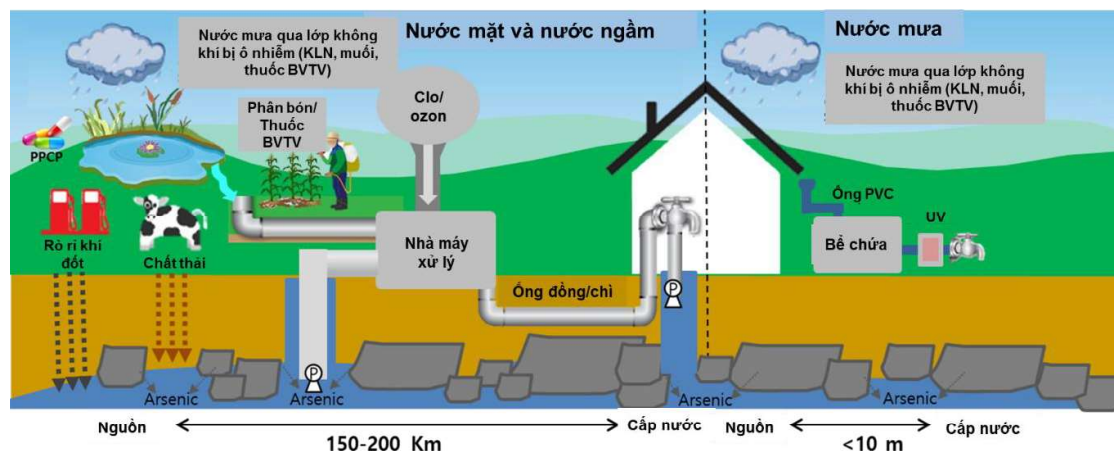
2.3. Kiểm soát chất lượng nước mưa

2.3.1. So sánh chất lượng nước giữa nước mặt, nước ngầm và nước mưa

Hình dưới đây cho thấy các chu trình thủy văn của nước mặt, nước ngầm và nước mưa. Nước bề mặt dễ bị ảnh hưởng bởi các chất ô nhiễm khác nhau vì nó di chuyển trên một quãng đường dài và có thể bị các chất ô nhiễm bên ngoài tác động. Nguyên nhân chính gây ô nhiễm nguồn nước mặt là do nước thải công nghiệp, sinh hoạt, nông nghiệp chưa quá xử lý hay đã qua xử lý không đúng quy cách xả ra sông. Lượng nước thải này đã tạo ra lượng lớn các chất dinh dưỡng khác nhau, các ion kim loại độc hại, và thậm chí là các chất gây rối loạn nội tiết như các sản phẩm chăm sóc cá nhân và dược phẩm (PPCP) và các chất gây ô nhiễm đáng lo ngại (CEC), gây ra các vấn đề ô nhiễm nghiêm trọng đối với nước mặt, nguy cơ đối với hệ sinh thái và sức khỏe con người.

Nước ngầm là một nguồn cung cấp nước chính khác. Nước ngầm tiếp xúc với ít chất gây ô nhiễm hơn so với nước bề mặt. Tuy nhiên, nước ngầm hòa tan các kim loại tự nhiên như asen và sắt khi di chuyển qua đá và trầm tích trong khu vực cụ thể. Asen đặc biệt được coi là chất gây ô nhiễm nước ngầm, được công nhận là một vấn đề sức khỏe lớn ở Nam Á như Bangladesh, tây Bengal, Ấn Độ, Campuchia, Việt Nam và Myanmar (Benner & Scott, 2010). Ngoài các chất gây ô nhiễm tự nhiên, các hoạt động nông nghiệp, xả thải công nghiệp và sinh hoạt cũng ảnh hưởng đến chất lượng nước ngầm. Thuốc trừ sâu, phân bón và chất thải chăn nuôi có thể ngấm vào nước ngầm, làm ô nhiễm mực nước ngầm. Nhiên liệu bị rò rỉ cũng có thể xâm nhập vào mạch nước ngầm và làm ô nhiễm tầng chứa nước.

Nước mưa thu được từ mái nhà và sử dụng tại chỗ, cho thấy khả năng tiếp xúc với chất gây ô nhiễm là thấp vì quãng đường ngắn và cơ hội tiếp xúc với chất gây ô nhiễm hạn chế. Nhiều thí nghiệm đã chỉ ra, chất lượng nước mưa đạt tiêu chuẩn nước uống, chỉ trừ vi sinh vật (Nguyen và cs 2017). Điều này cho thấy nước mưa có chất lượng tốt đáng kể trong số các nguồn nước khác nhau.



Hình 2.21. So sánh khả năng tiếp xúc các chất ô nhiễm giữa nước máy và nước mưa theo quãng đường di chuyển

(Lee và cs 2017)

2.3.2. Các chất ô nhiễm trong hệ thống nước mưa

Thông thường, nước mưa có độ pH dao động trong khoảng 6.2 đến 6.4, được coi là môi trường axit nhẹ. pH = 7 để chỉ các dung dịch trung tính. Thông thường pH = 5,6 (pH 5,6 là mức pH của nước bão hoà khí CO₂) được coi là cơ sở để xác định mưa axit. Điều này có nghĩa là bất kỳ một trận mưa nào có độ axit thấp hơn 5,6 được gọi là mưa axit. Mưa axit đa phần gây tác động xấu đến môi trường và nếu nước mưa thấm trực tiếp xuống mực nước ngầm sẽ làm tăng độ chua của đất. Do đó, khi thu gom và tái sử dụng nước mưa, cần chú ý đến các biện pháp kiểm soát chất lượng nước mưa. Độ pH của nước mưa có thể được trung hòa bằng cách lưu trữ trong các bể chứa nước mưa, nhất là các bể gạch hay bê-tông trong khoảng thời gian thích hợp. Ngoài ra, để hạn chế việc sử dụng nước mưa có chứa axit, các hệ thống thu gom nước mưa cần được thiết kế để xả nước mưa đột đầu. Có thể tham khảo Thông tư 32/2011/TT-BTNMT của Bộ Tài nguyên Môi trường về Quy trình kỹ thuật quan trắc chất lượng nước mưa.

Trên thế giới có nhiều báo cáo về các chất gây ô nhiễm trong hệ thống nước mưa. Nghiên cứu về chất lượng nước mưa tập trung vào sự hiện diện của các mầm bệnh và vi khuẩn và các kết quả khác nhau tùy theo cách thiết kế và quản lý hệ thống nước mưa. Gould (1999) và Cunliffe (2004) kết luận rằng nước mưa thu được từ các lưu vực mái được bảo dưỡng tốt nói chung là an toàn; Dillaha và Zolan (1985) tuyên bố rằng chất lượng nước mưa trong bể chứa nói chung là chấp nhận được cho mục đích uống và nấu ăn. Ngược lại, các nghiên cứu của Thomas và Greene (1993) và Simmons và cộng sự (2001) cho thấy nước mưa thu từ mái nhà có chất lượng tương đối kém về mặt vi sinh. Tuffley và Holbeche (1980), Lye (1992), Simmons và cộng sự (2001) đều phát hiện mầm bệnh trong bể chứa nước mưa, trong khi một số tác giả khác đã liên hệ việc nước mưa tích trữ trong bể với sự bùng phát của *Campylobacter enteritis* (Palmer et al, 1983; Merritt et al. 1999) và Salmonellosis (Taylor 2000). Tuy nhiên, có rất ít trường hợp được công bố trong đó mỗi liên hệ trực tiếp giữa lưu trữ nước mưa và tỷ lệ mắc bệnh (Gould, 1999). Trong một nghiên cứu trên 1.000 trẻ em ở Nam Úc, Heyworth (2006) đã phát hiện ra rằng tỷ lệ mắc bệnh dạ dày/ đường ruột ở những trẻ nhỏ uống nước mưa tích trữ trong bể chứa không lớn hơn so với những trẻ uống nước công cộng được khử trùng bằng clo và lọc.

Nhiều tác giả đã đề xuất cách tiếp cận mới, rằng có “hệ sinh thái” độc đáo trong bể nước mưa và hệ thống có thể tự xử lý (Evans và cộng sự (2009); Kim & Han (2014); Kim & Han (2015). Trên cơ sở đó, các biện pháp bền vững cho việc thiết kế và quản lý hệ thống nước mưa được đề xuất.

Bảng 3.2. Các nghiên cứu về chất lượng nước trong hệ thống nước mưa.

Nghiên cứu	Kết quả chính	Ghi chú
Dillaha & Zolan (1985), Pinfold và cs (1993), Handia và cs (2003)	Nước mưa lưu trữ trong bể có thể chấp nhận cho ăn uống và sinh hoạt	- Kết quả khác nhau tùy thuộc vào thiết kế và điều

Simmons và cs (2001), Mohammad và cs (2008)	Mầm bệnh được phát hiện Chất lượng kém về mặt vi sinh	kiện bảo trì của hệ thống nước mưa. - Cần phương pháp tiếp cận kỹ thuật sinh thái không liên quan đến việc liệu mầm bệnh có hiện diện hay không để quản lý bền vững
Gould (1999), Cunliffe (2004)	Nước mưa thu được từ các lưu vực mái được duy trì tốt là an toàn	
Lye (2002)	Nước mưa thể hiện "nguy cơ sức khỏe chung"	
Gould (1999), Heyworth và cs (2006)	Mối liên hệ giữa nước mưa tích trữ và tỷ lệ mắc bệnh	
Evans và cs (2009), Kim & Han (2014) (2015)	Khả năng tự xử lý trong bể nước mưa	

2.3.3. Loại bỏ các chất ô nhiễm mục tiêu trong hệ thống nước mưa

Phương pháp tiếp cận nhiều rào cản

Các chất ô nhiễm mục tiêu cần được loại bỏ khỏi hệ thống nước mưa thường là cặn lắng và vi sinh vật.

Trong trường hợp nước mưa được thu trên mái nhà, ô nhiễm chủ yếu có thể xảy ra trên hệ thống thu gom trên mái hoặc trong bể chứa. Do các chất gây ô nhiễm xuất phát từ khu vực mái nhà, chất lượng nước trong bể phụ thuộc vào cách quản lý mái nhà.

Trong bể chứa nước mưa, hầu hết các chất bẩn dạng cặn lắng đi vào bể có thể được loại bỏ bằng cách lắng (Hand and Mun, 2008). Màng sinh vật (biofilm) hình thành bên trong bể nước mưa có chức năng kiểm soát chất lượng vi sinh vật (Evans et al, 2009; Krampitz và Hollander, 1999; Kim và Han, 2015). Để nâng cao tính bền vững của hệ thống nước mưa, hệ thống cần được thiết kế sao cho nước mưa có thể được xử lý bằng cách sử dụng quá trình xử lý tự nhiên như lắng bằng trọng lực và tự lọc bằng màng sinh học càng nhiều càng tốt.

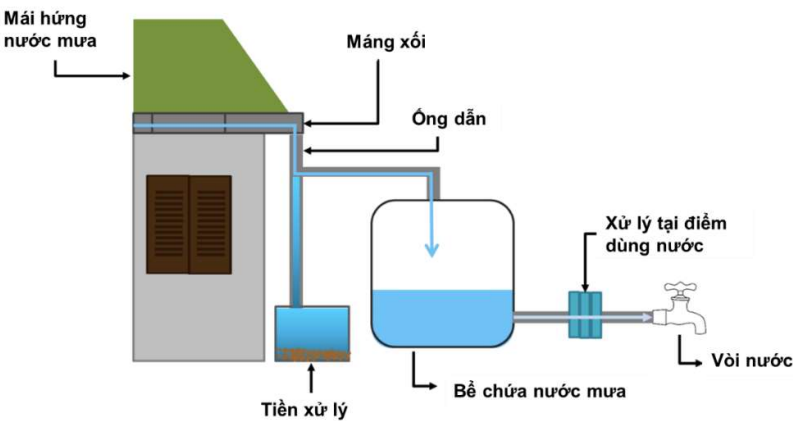
Để quản lý chất lượng nước tốt và đáng tin cậy, mô hình nhiều rào cản (multiple barriers) nên được áp dụng. Việc bảo vệ được thực hiện bằng nhiều phương pháp khác nhau, thay vì chỉ dựa vào một biện pháp duy nhất.

Ví dụ, nếu chỉ dựa vào một bậc xử lý là lõi lọc để đảm bảo nước sạch và an toàn, sẽ làm tăng chi phí lắp lõi lọc nhiều bậc, chi phí thay thế lõi lọc thường xuyên, chi phí năng lượng, và khó áp dụng cho các khu vực không có điện lưới.

Phương pháp tiếp cận nhiều rào cản không dồn mục tiêu ổn định chất lượng nước vào một bậc hay một thiết bị xử lý, nhưng nó có thể đảm bảo an toàn bằng cách phân bổ gánh nặng cho các công đoạn, tạo nhiều rào cản để kiểm soát chất lượng nước. Các rào cản trong hệ thống nước mưa thường bao gồm: làm sạch mái nhà, tiền xử lý, xử lý trong bể chứa và tại điểm sử dụng.

dụng. Ba rào cản đầu không yêu cầu năng lượng và có chi phí thấp, trong khi rào cản thứ tư cần năng lượng và chi phí cao hơn.

Sử dụng tối đa lợi ích của các giải pháp dựa vào tự nhiên, với sử dụng bể chứa làm bể lắng và loại bỏ vi sinh vật, giúp giảm chi phí quản lý, năng lượng tiêu thụ tại điểm xử lý, và hệ thống nước mưa có thể được vận hành bền vững hơn.



Hình 2.22. Sơ đồ kiểm soát chất lượng nước của hệ thống nước mưa bằng mô hình nhiều rào cản

Điều kiện áp dụng của từng giải pháp kiểm soát chất lượng nước mưa theo mục đích sử dụng được trình bày trong bảng dưới đây.

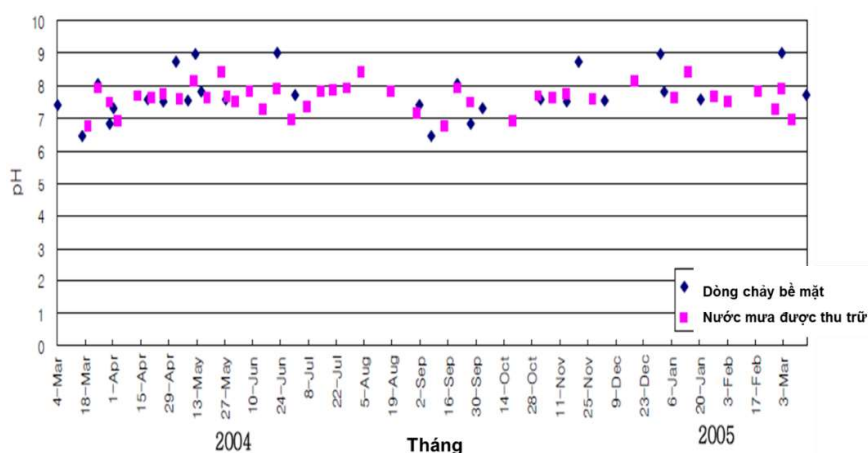
Bảng 2.7. Điều kiện áp dụng của từng giải pháp kiểm soát chất lượng theo mục đích sử dụng

Mục đích sử dụng	Mô hình thu gom và xử lý	Giải pháp kiểm soát chất lượng
Dùng trong sinh hoạt	Mái nhà → Lọc thô → Bể/Túi thu nước mưa (plastic)/ Bể chứa	Lọc thô: Loại bỏ lá cây, rơm rạ và các loại vật cản có kích thước lớn
Dùng trong ăn uống	Mái nhà → Lọc thô → Bể lắng → Bể/Túi chứa nước mưa	Lọc thô: Loại bỏ lá cây, rơm rạ, ... Bể lắng: Lắng cặn
	Mái nhà → Lọc thô → Bể lắng → Bể chứa nước mưa	Lưới chắn rác: Loại bỏ lá cây, rơm rạ,... Bể lắng: Lắng cặn Bể chứa nước mưa: Làm bằng vật liệu khác nhau, có nắp ngăn côn trùng xâm nhập vào bể
	Mái nhà → Lọc thô → Bình xả nước mưa đợt đầu → Lọc → Bể chứa nước mưa	Lưới chắn rác: Loại bỏ lá cây, rơm rạ Bình xả nước mưa đợt đầu: Loại bỏ cặn bẩn Lọc: Loại bỏ cặn lơ lửng, keo

		Bể chứa nước mưa: Làm bằng nhiều loại vật liệu khác nhau: PE, thép không gỉ, bê-tông cốt thép, ...
Nước uống trực tiếp	Mái nhà → Lọc thô → Bình xả nước mưa đợt đầu → Lọc → Khử trùng → Bể chứa nước mưa	Lưới chắn rác: Loại bỏ lá cây, rom rạ.... Bình xả nước mưa đợt đầu: Loại bỏ cặn Lọc: Loại bỏ cặn lơ lửng Khử trùng: bằng tia UV, ozone Bể chứa nước mưa: Làm bằng nhiều loại vật liệu khác nhau PE, thép không gỉ, bê-tông cốt thép,
Dùng trong tưới tiêu nông nghiệp	Bể mặt thu gom → Lưu vực lưu trữ → Hệ thống kênh mương thủy lợi/ tưới tiêu	Lưu vực lưu trữ: Lắng cặn
Dùng trong thương mại, khu du lịch, dịch vụ	Bể mặt thu gom → Đường ống thu gom → Bể chứa nước mưa → Bơm → Sử dụng	Bể chứa nước mưa: Lắng cặn
Dùng trong công nghiệp: nước sản xuất, nước làm mát....	Bể mặt thu gom → Tiền xử lý (lắng) → Bể chứa nước mưa → Bơm → Sử dụng trong công nghiệp	Tiền xử lý: Loại bỏ cặn lắng
Bổ cập nước ngầm	Bể mặt thu gom → Đường ống thu gom → Bể mặt thấm	

Bê mặt mái nhà

Bê mặt mái nhà thường được coi là nguồn ô nhiễm tiềm ẩn đối với nước mưa, nhưng cũng có thể được coi là một phương tiện xử lý, cung cấp một loạt các quy trình có lợi. Ví dụ, vì nước mưa thường có tính axit nhẹ, sự gia tăng độ pH là do tiếp xúc với bê mặt bê tông trên mái nhà, và sau đó là bê bê tông. Kim và cộng sự. (2005) đã chỉ ra độ pH hàng năm trong dòng chảy mái nhà và nước mưa tích trữ được dao động 6,5 ~ 9,0 và 6,8 ~ 8,4 mỗi nơi.



Hình 2.23. Thay đổi hàng năm về độ pH của dòng chảy mái nhà và nước mưa tích trữ

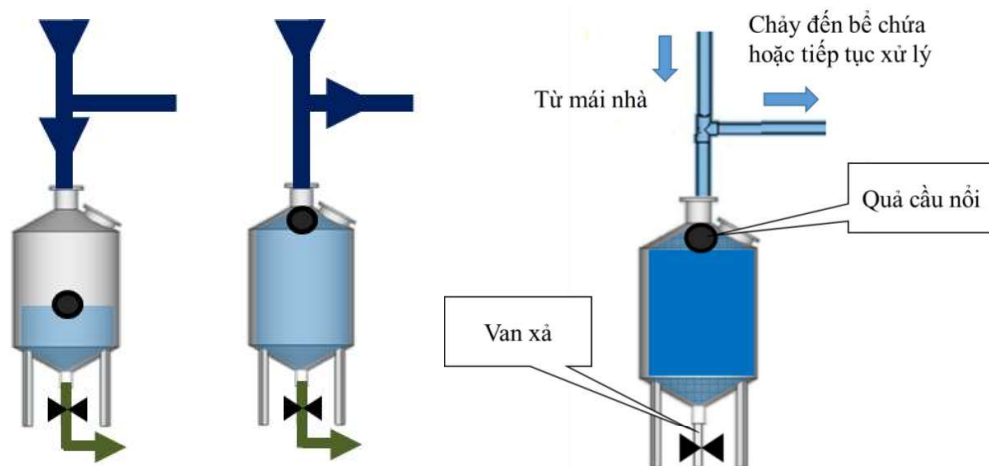
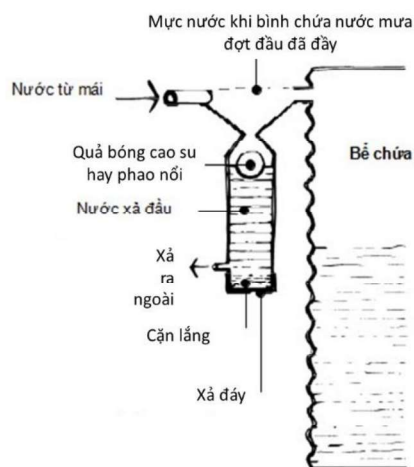
Các yếu tố khác nhau của mái nhà ảnh hưởng đến chất lượng nước mưa trong bể như hình dạng mái (diện tích, sự phơi nhiễm và độ nghiêng), đặc tính hóa học của vật liệu mái, độ nhám, lớp phủ bề mặt, độ tuổi và khả năng thời tiết), vị trí của mái (gần nguồn ô nhiễm), và lịch sử bảo trì (Abbasi và Abbasi 2011). Lee và cs (2012) cho thấy ảnh hưởng của các loại bề mặt khác nhau (ngói lợp bằng gỗ, ngói bê tông, ngói đất sét, ...) đến chất lượng nước mưa. Trong nghiên cứu, mái tôn cho chất lượng nước mưa tốt nhất, có thể là do tia cực tím và nhiệt độ cao dẫn đến việc khử trùng hiệu quả nước mưa thu được. Ngoài ra, nghiên cứu cho thấy sự hiện diện của rêu trên mái có ảnh hưởng xấu đến chất lượng nước mưa.

Thiết bị tách nước mưa đợt đầu

Dòng nước chảy tràn đầu tiên xảy ra khi bắt đầu có mưa có chứa tải lượng chất ô nhiễm cao (Forster, 1991; Poorkes, 1996). Nguyên nhân chính của hiện tượng này là do sự lắng đọng và tích tụ các chất ô nhiễm lên mái nhà trong thời kỳ khô hạn. Thời gian khô hạn càng dài, xác suất tải chất ô nhiễm cao hơn trong lần xả đầu tiên càng lớn. Do đó, nên lắp đặt một thiết bị để chuyển hướng dòng chảy đầu tiên ra khỏi hệ thống thu gom nước mưa.

Hệ thống sử dụng nước mưa quy mô lớn thường có gắn thêm thiết bị đo nước mưa và được nối trực tiếp với một van tự động trong ống thu nước mưa để tách bỏ đi một cách có kiểm soát phần nước mưa đợt đầu.

Ở quy mô nhỏ như hộ gia đình, có thể tách bỏ phần nước mưa đợt đầu bằng 3 cách. Cách 1, thủ công: trước trận mưa, ống dẫn nước mưa được hướng ra ngoài; chỉ đặt ống nước mưa quay vào bể chứa sau khoảng một thời gian từ khi bắt đầu trời mưa (3-5 phút). Cũng có thể tách bỏ phần nước mưa đợt đầu bằng cách đặt thêm một đoạn ống đứng (cách 2) hay bình chứa (cách 3), có van xả đáy, trên đoạn ống nối từ ống đứng dẫn nước mưa vào bể chứa. Trước tiên nước mưa sẽ chảy vào đoạn ống này, trong khi van xả đáy của ống đóng lại. Khi đoạn ống này đã đầy, quả bóng cao su hay van phao sẽ tự động đóng. Đường chảy của nước mưa khi đó là vào bể chứa nước mưa. Việc xả nước mưa đợt đầu từ đoạn ống hay bình chứa sau trận mưa sẽ được thực hiện thủ công. Dung tích chứa của bình có thể lớn, nhỏ tùy theo đặc điểm chất lượng nước mưa ở địa phương, và thường được lấy không nhỏ hơn lượng mưa chảy từ diện tích thu trong 3 phút.



Hình 2.24. Thiết bị xả nước mưa đọt đầu “bán tự động” để kiểm soát chất lượng nước mưa

Nên để lượng nước mưa đọt đầu và lượng nước mưa thừa (tràn bể) thấm xuống đất hoặc chảy vào cống. Tốt nhất là cho phần nước mưa này ngấm một cách từ từ xuống đất, thông qua các mương thấm rải sỏi. Nước thấm sẽ góp phần tái tạo, bổ cập nguồn nước ngầm.

Diễn biến của thời tiết

Các trạng thái diễn biến thời tiết cũng có thể ảnh hưởng đáng kể đến tải lượng mầm bệnh trên mái nhà (Evans et al., 2006). Yaziz và cộng sự (1989) đánh giá nước mưa thu gom từ hai loại mái, tôn mạ kẽm và mái ngói bê tông, về độ pH, nhiệt độ, tổng vi sinh ở Malaysia cho thấy thời gian khô hạn giữa các trận mưa kéo dài dẫn đến lượng chất ô nhiễm lắng đọng trên bề mặt mái nhiều hơn. Zhu và cộng sự (2004) đã khảo sát và chỉ ra rằng chất lượng nước bể chứa trong các mùa mưa kém hơn nước mưa chứa trong bể vào các mùa khô.

Vệ sinh, bảo trì hệ thống nước mưa

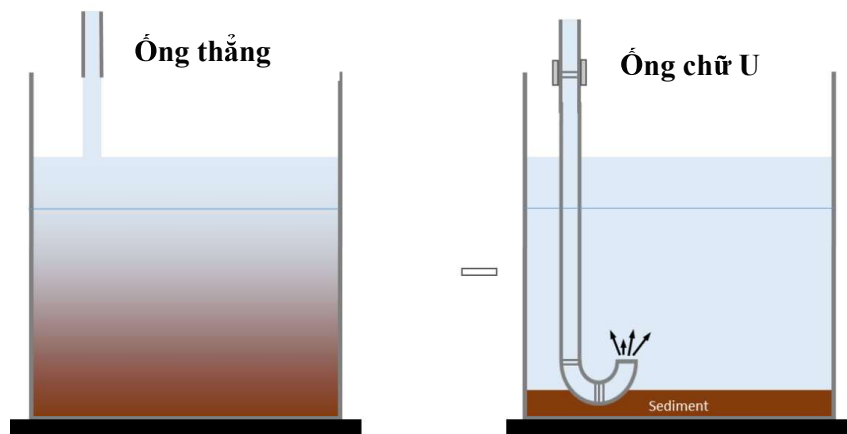
Các giải pháp có thể cải thiện chất lượng nước mưa bao gồm giải pháp giữ mái thu sạch, tách rác, sử dụng thiết bị xả lọc đầu, sử dụng bể lắng, bể lọc cát/than hoạt tính hay cụm lọc nhiều bậc, khử trùng. Liên quan đến thau rửa, vệ sinh hệ thống thu gom, Krampitz và Hollander (1999) đã đề cập đến chất lượng nước trong bể chứa nước mưa kém hơn sau khi làm sạch bể

và kết luận rằng việc làm sạch bể thường xuyên là không hiệu quả, do khó tiếp cận đến toàn bộ bề mặt trong của hệ thống để cọ rửa và việc vệ sinh thường không có đủ nước xả rửa, trong khi màng vi sinh có ích trong bể lại bị mất đi. Tuy nhiên cần phải dọn vệ sinh thường xuyên căn, rác trên mái và hệ thống máng xối, xả rửa thiết bị tách nước mưa đợt đầu sau mỗi trận mưa, định kỳ xả căn lắng trong bể nước mưa, rửa vật liệu lọc cát/than đã tích lũy đầy căn bản, thay thế lõi lọc của bộ lọc nhiều bậc, để đảm bảo chất lượng nước mưa sau xử lý được duy trì tốt.

Cơ chế loại bỏ căn lắng trong bể nước mưa

Trong bể chứa nước mưa, các căn lắng có thể được tách ra khỏi nước mưa thông qua các quá trình lắng, lọc, và giải pháp thiết kế phù hợp như thiết bị tách nước mưa đợt đầu, hay ống dẫn nước mưa vào bể tránh sục căn, bố trí vách ngăn trong bể, lắp ống lấy nước ra sát mặt nước. Các giải pháp này không cần sử dụng năng lượng.

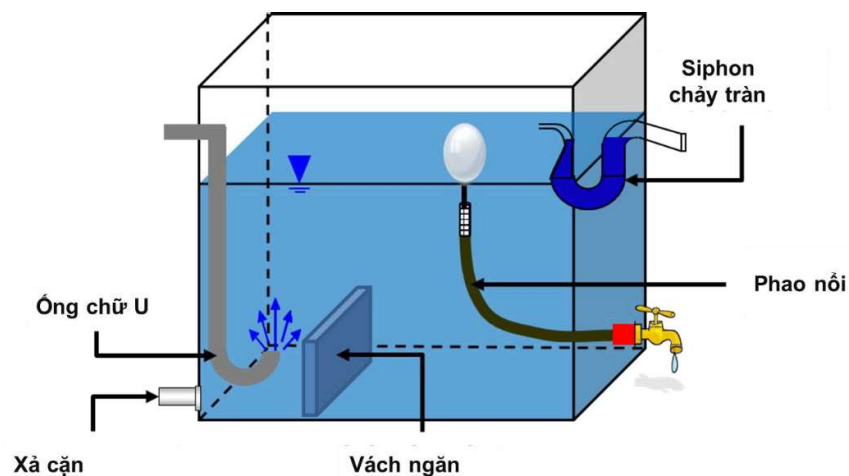
Hầu hết các bể chứa nước mưa của hộ gia đình có kích thước nhỏ, khi nước chảy từ trên cao xuống và vào bể dễ làm sục căn lắng đọng, từ đó làm giảm chất lượng của nước lưu trữ. Một ống dẫn nước hình chữ U (calm inlet) sẽ làm giảm tốc độ dòng chảy, ngăn xáo trộn nước và căn lắng, giúp căn lắng nằm yên ở đáy bể. Ngoài ra, có thể bố trí một thùng lắng sơ bộ nước mưa, cho nước mưa từ ống đứng chảy vào đó trước khi chảy tràn sang bể chứa nước mưa lớn. Ống dẫn chữ U trong trường hợp này có thể lắp ở cả thùng lắng sơ bộ và bể nước mưa.



Hình 2.25. Thiết kế ống dẫn nước vào chữ U để tránh sục căn lắng trong bể

Thiết kế một vách ngăn đơn giản ở gần ống đầu vào có thể ngăn chặn bùn đáy lan rộng trong bể chứa và dễ xả căn khi vệ sinh bể chứa hơn. Bùn tích tụ có thể được loại bỏ thông qua một ống xả căn.

Ống lấy nước mưa ra khỏi bể sử dụng phao nổi cho phép chỉ thu nước sạch ở lớp nước trên cao sát mặt nước trong bể, tránh được căn bản ở đáy bể cũng như vẩn nổi trên mặt nước. Siphon xả tràn có thể loại bỏ lớp vẩn bẩn nổi trên bề mặt bể nước mưa.

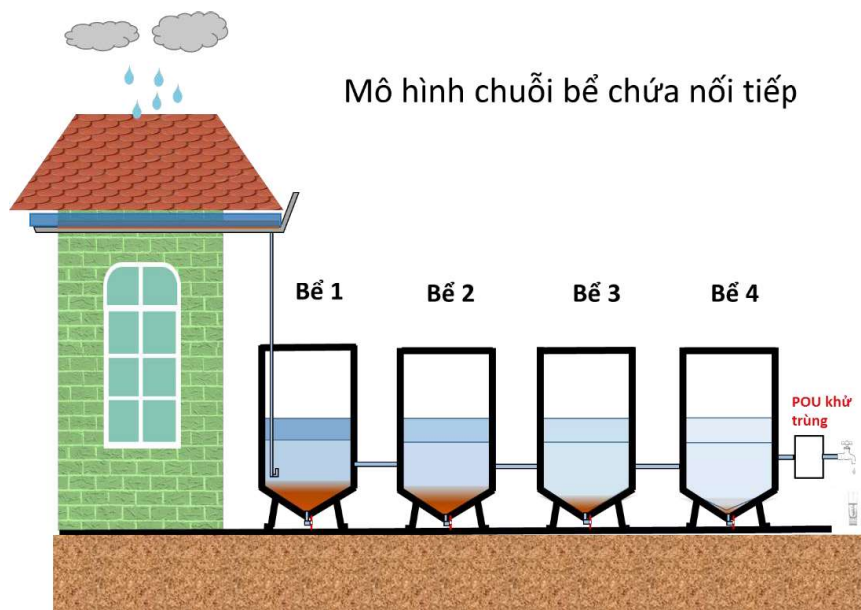


Hình 2.26. Tách cặn lắng trong bể chứa nước mưa

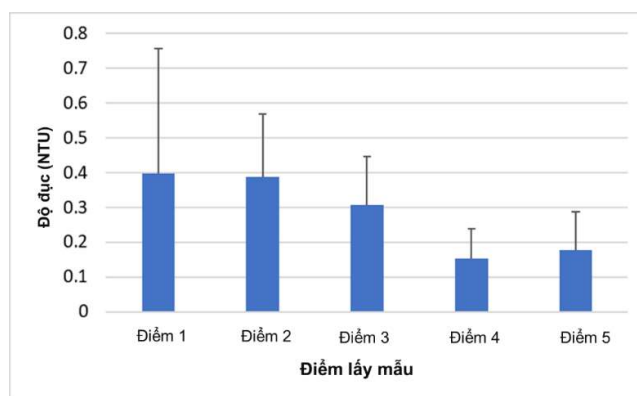
Trường hợp không bố trí ống mềm, có thể dùng bộ lọc thô gắn trên ống dẫn nước ra khỏi bể, để giữ lại các tạp chất có kích thước lớn, váng và cặn. Bộ lọc có thể dễ dàng tháo và làm sạch. Cần đảm bảo khả năng tiếp cận bộ lọc để bảo trì trong quá trình sử dụng bể.

Hành vi của cặn lắng trong bể chứa nước mưa:

Các nghiên cứu viên đã xác định hành vi của các hạt cặn lắng trong các bể được thiết kế theo chuỗi, độ đục trong mỗi bể chứa được đo và so sánh.



Hình 2.27. So sánh độ đục trong các điểm lấy mẫu khác nhau



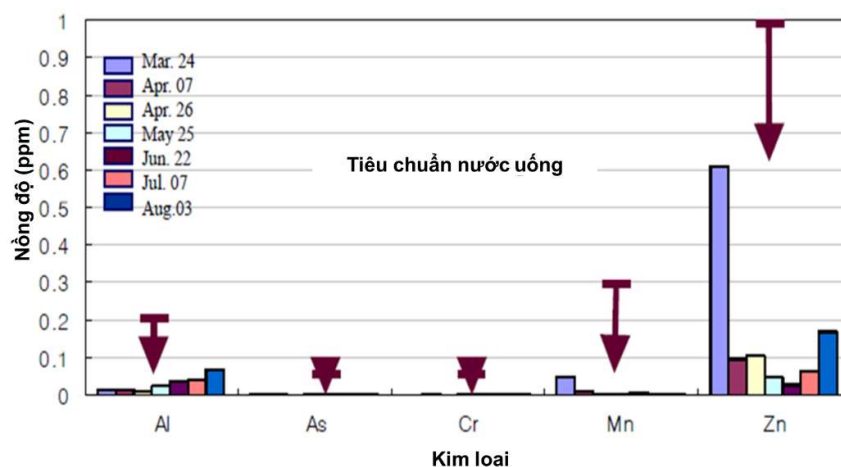
Hình 2.28. Diễn biến độ đục qua các bể chứa nước mưa nối tiếp (hệ thống thu nước mưa tại Đại học Tôn Đức Thắng)

Độ đục trong bể chứa luôn thấp dưới 0,85 NTU, và giảm dần về phía bể sau trong chuỗi bể nối tiếp. Đặc biệt, bể thứ 4 có giá trị độ đục thấp hơn sau lọc. Tải lượng chất bẩn lên cụm lọc tại điểm sử dụng sẽ được giảm đáng kể, giúp giảm chi phí lắp đặt, vận hành hệ thống.

Thời gian lưu trữ trong bể chứa:

Với thời gian dài, các cơ chế tự xử lý, ổn định đường như diễn ra trong các bể chứa. Trong đó, quá trình lắng, hấp phụ và phân hủy sinh học đóng vai trò cốt yếu trong việc cải thiện chất lượng nước. Hầu hết các chất hữu cơ trong nước đều bị phân hủy sinh học ở các mức độ khác nhau. Một phần các hợp chất hữu cơ hấp phụ trên chất rắn lơ lửng từ từ rơi xuống đáy bể, tạo thành cặn và được đưa ra khỏi đáy bể. Do đó, chất lượng nước mưa được lưu trữ trong bể chứa có khả năng được cải thiện theo thời gian (Ariyananda, 2005).

Theo thời gian, độ pH của nước mưa thay đổi thành trung tính, độ đục và hàm lượng kim loại giảm nhờ quá trình lắng (Han và cộng sự, 2006; Han và Mun, 2007). Hàm lượng kim loại luôn ở mức thấp so với tiêu chuẩn nước uống của WHO (Kim và cs, 2005).



Hình 2.29. Thành phần kim loại trong nước mưa lưu trữ



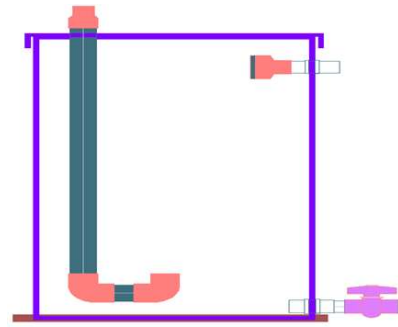
a) Thiết bị lọc thô



b) Thùng lắng sơ bộ



c) Chi tiết thiết bị lọc thô: Đặt bên trong đường ống thu nước từ xê-nô về bể lắng



d) Ống dẫn nước vào thùng lắng sơ bộ

Hình 2.30. Cấu tạo một số thiết bị kiểm soát chất lượng nước mưa

Bể lọc cát

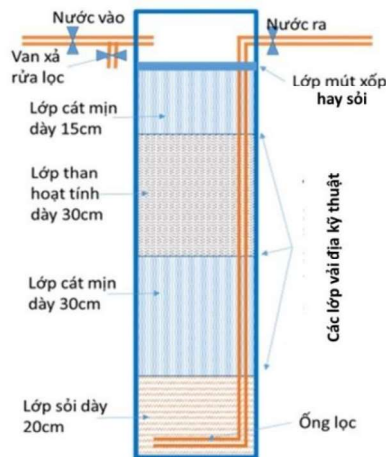
Bể lọc cát được bố trí sau bể nước mưa, trước khi lấy nước sử dụng, mục đích để loại bỏ các loại cặn lơ lửng và keo, cũng như vi sinh vật có trong nước mưa. Có thể áp dụng cột lọc xuôi hay lọc ngược; có thể sử dụng vật liệu hấp phụ như than hoạt tính sau lọc cát hoặc sử dụng bể lọc 2 lớp vật liệu (cát và than hoạt tính). Với cơ chế lọc chậm, trong quá trình lọc, trên bề mặt lớp cát sẽ hình thành một lớp màng lọc, giúp giữ lại hết cặn bẩn, các tạp chất ở dạng keo, thậm chí là cả các vi sinh vật. Lớp than hoạt tính có tác dụng hấp phụ các chất hữu cơ hòa tan còn lại, có nguồn gốc từ bụi, khí thải trong không khí hay bị cuốn theo từ trên mái vào bể nước mưa.

Có thể sử dụng đoạn ống nhựa PVC làm cột lọc quy mô hộ gia đình, Ø160mm, cao 1000mm. Cột lọc có đường ống dẫn vào, ra, đường ống xả nước rửa, van khóa. Đoạn ống thu nước sau lọc đặt ở đáy cột lọc, được làm bằng ống đục lỗ, được đặt trong lớp sỏi đỡ (có tác dụng chống tắc), nối với đoạn ống dẫn nước sau lọc ra khỏi cột lọc.

Trên lớp cát trên cùng có một lớp sỏi để ngăn nước chảy mạnh xối vào làm xáo trộn lớp màng lọc.

Có thể bố trí cột lọc cát nối tiếp theo là cột lọc than hoạt tính dạng hạt, hoặc cột lọc 2 lớp nối tiếp. Trường hợp này, giữa các lớp vật liệu lọc là lớp vải địa kỹ thuật, để tránh sự xáo trộn giữa các lớp vật liệu.

Khi cặn đã tích lũy đầy trong cột lọc, cần tiến hành sục rửa. Khóa van nước vào, mở van dẫn nước ra để dẫn nước rửa (chính là nước mưa từ bể chứa nước sau lọc) chảy ngược lại, đi qua cột lọc từ dưới lên. Nước rửa ngược sẽ sục rửa, làm sạch các lớp vật liệu lọc, nước bẩn được xả ra ngoài theo van xả rửa lọc. Trước khi rửa ngược, dùng một đoạn ống tre/gỗ sạch sục vào cột lọc, xới tơi vật liệu lọc lên, để rửa sạch mà đỡ tốn nước.



Hình 2.31. Thiết kế định hình bộ lọc

Bộ lọc đĩa

Lọc đĩa có khả năng lọc được các cặn bẩn và cả các chất hữu cơ. Bộ lọc đĩa bao gồm một ống trung tâm ở giữa, đặt các vòng đĩa xếp chồng lên nhau, mỗi đĩa có các rãnh ở hai bên. Khi nước được đẩy qua các rãnh, cặn bẩn được giữ lại tại thành ngoài của các đĩa, trong khi nước sạch đi qua các rãnh đĩa và chảy qua ống trung tâm ra ngoài.



Hình 2.32. Bộ lọc đĩa Israel sử dụng để lọc cặn bẩn trong nước mưa

Lõi lọc nhiều bậc

Có thể đạt chất lượng nước mưa sau xử lý là uống được trực tiếp nếu sử dụng bộ lọc với các lõi lọc nối tiếp đảm bảo tiêu chuẩn, và khử trùng nước sau lọc.

Các lõi lọc thường dùng, được bố trí nối tiếp, là lõi lọc dạng sợi, vi lọc MF, lọc hấp phụ các-bon. Các cột lọc có thể được lắp trực tiếp dưới cây lấy nước, cùng với bộ đèn UV. Cũng có thể lắp cột lọc gần bể chứa và cụm máy bơm, cùng với bộ đèn UV hay máy tạo ozone khử

trùng, để cung cấp nước uống. Thời gian sử dụng của các lõi lọc này từ 6 tháng đến 1 năm, tùy theo vị trí. Lõi lọc sợi đầu tiên sẽ phải thay thường xuyên hơn.

Có thể lắp màng lọc thẩm thấu ngược RO ở công đoạn lọc sau cùng, trước khi khử trùng, để loại bỏ hoàn toàn các tạp chất trong nước. Màng lọc RO cần đi kèm với một bơm áp lực cao để đưa nước qua màng. Màng RO cũng luôn tạo ra một dòng thải bên cạnh dòng nước tinh khiết sau xử lý (tỷ lệ thu hồi đối với nước mưa thường đạt 50-80%). Đối với công trình thu gom nước mưa, cần hạn chế lượng nước cần xả đi, để đảm bảo đủ nước sử dụng trong thời gian dài, do đó việc lắp màng RO cần được cân nhắc. Lắp màng lọc nano (NF) thay cho màng RO cũng là một giải pháp được cân nhắc.



Hình 2.33. Máy lọc nước với các lõi lọc sợi, vi lọc, lọc hấp phụ các-bon và lọc RO

Khử trùng nước mưa

Có sự hiện diện của mầm bệnh trong các mẫu nước mưa thu qua mái hứng. Do đó, nước mưa cần được khử trùng trước khi sử dụng. Việc khử trùng có thể thực hiện theo nhiều cách.

- Đun sôi nước: là biện pháp đơn giản và phổ biến để khử trùng nước mưa ở quy mô hộ gia đình.
- Khử trùng bằng Clo và các hợp chất Clo: là một trong những phương pháp khử trùng phổ biến, thường được áp dụng tại các nhà máy xử lý nước. Phương pháp khử trùng bằng Clo cũng có thể được áp dụng để khử trùng nước mưa.

Ở bể chứa đầu tiên, Clo được đưa vào với hàm lượng 0.3-0.5ppm. Sau khi bể đầy nước, tính lượng Clo cần sử dụng, hòa tan vào chậu nước, đưa dung dịch Clo xuống đáy bể bằng ống dẫn và để Clo hòa tan vào nước bể. Sau khoảng 1 ngày, mở van để cho nước chảy qua cột lọc cát, than hoạt tính và chảy vào bể chứa nước sử dụng. Có thể sử dụng viên nén TCCA có bán sẵn trên thị trường. Lưu ý là nguồn nước này vẫn chưa đảm bảo để uống trực tiếp.

- Khử trùng bằng ozone hoặc UV:

Nước mưa có thể được xử lý qua các cột lọc và khử trùng trước khi uống trực tiếp bằng ozone và UV. Cột lọc sử dụng màng lọc nano cho phép lọc hầu hết các tạp chất có kích thước nhỏ. Khử trùng bằng đèn UV hoặc bằng máy tạo ozone trước khi uống trực tiếp. Các biện pháp

khử trùng này có hiệu suất cao nhưng giá thành và yêu cầu nguồn điện vận hành là những vấn đề cần xem xét.

- Khử trùng bằng năng lượng mặt trời (Solar disinfection - SODIS): là một biện pháp khử trùng chi phí thấp, áp dụng cho các vùng có bức xạ mặt trời mạnh, số giờ nắng trong năm cao (miền Nam và Nam Trung bộ). Nước mưa được cho vào các chai trong và sạch (bằng thủy tinh hoặc nhựa chịu nhiệt cao), đem phơi dưới ánh nắng mặt trời từ 6-8 giờ/mẻ, các vi sinh vật gây bệnh sẽ bị tiêu diệt.



Hình 2.34. Cột lọc nước nhiều bậc và đèn khử trùng bằng UV

An toàn vi sinh trong hệ thống nước mưa

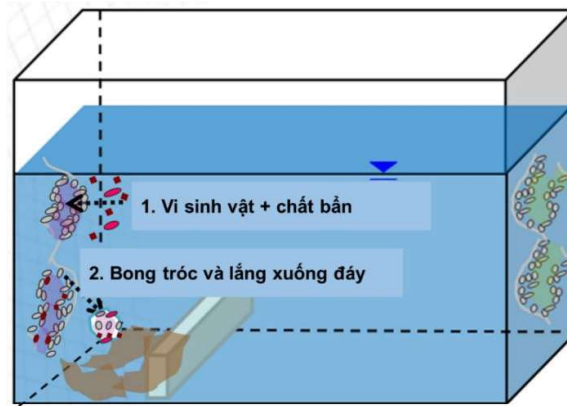
Kiểm soát vi sinh vật gây bệnh để đảm bảo an toàn trong hệ thống nước mưa có thể được thực hiện bằng mô hình nhiều rào cản, từ mái thu, các bước tiền xử lý, trong bể chứa nước mưa, và xử lý tại điểm sử dụng.

Trong bể chứa nước mưa, mầm bệnh có thể được loại bỏ nhờ thời gian lưu lâu (nhiều tháng), nhờ các giải pháp thiết kế giảm thiểu cặn lắng (luôn chứa vi sinh vật bên trong).

Cũng như quá trình tách cặn, chất lượng nước mưa về mặt vi sinh cũng bị ảnh hưởng bởi số bể được thiết kế trong chuỗi bể nối tiếp. Nhóm nghiên cứu của Đại học Xây dựng Hà Nội và Đại học Quốc gia Seoul, Hàn Quốc đã chỉ ra sự thay đổi số lượng vi sinh vật trong các bể chứa trong chuỗi bể. Coliforms tổng số và E.Coli có giá trị cao nhất tại điểm 1 được lấy từ bể chứa đầu tiên, và giảm dần đến bể chứa tiếp theo, thậm chí không phát hiện ở bể chứa thứ 4, nhờ cơ chế tách cặn, thời gian lưu nước lâu, và cơ chế ổn định, xử lý bởi màng sinh học trong bể chứa.

Màng sinh học hình thành trong bể chứa nước mưa không chỉ có vai trò thúc đẩy sự tồn tại của vi sinh vật tự nhiên, mà còn được sử dụng như một bộ lọc tự nhiên cho phép loại bỏ các mầm bệnh từ nước mưa theo cơ chế cạnh tranh. Các màng sinh học phát triển, sử dụng chất dinh dưỡng có trong nước và cặn lắng. Theo thời gian, chất lượng nước mưa có thể được duy trì ổn định.

Sự hình thành màng sinh học có liên quan tới diện tích bề mặt của bể chứa. Tăng tỷ lệ bề mặt trên thể tích (tỷ lệ S/V), chất lượng nước mưa về mặt vi sinh được kiểm soát tốt hơn.



Hình 2.35. Vai trò của màng sinh học trong việc cải thiện chất lượng nước trong bể chứa nước mưa



Hình 2.36. Ví dụ về thiết kế bể tăng tỉ lệ S/V

2.2. Mái nhà xanh

2.2.1. Giới thiệu chung

“Mái nhà xanh” là mái của một công trình được bao phủ một phần hoặc toàn bộ bởi thực vật và môi trường phát triển của lớp thực vật đó. Mái nhà xanh được trồng trên lớp màng chống thấm, ngoài ra cũng có thể bao gồm các lớp bổ sung khác như lớp ngăn rễ xâm thực, lớp thoát nước và hệ thống tưới tiêu. (Việc dùng từ "xanh" liên quan đến xu hướng phát triển của môi trường và không đề cập đến mái chỉ đơn thuần là màu xanh như lợp ngói xanh hay phủ tấm lợp màu xanh)

Những mái nhà có nhiều cây trồng trong chậu tạo thành khu vườn trên cao, nói chung không được coi là mái xanh thực sự, mặc dù đây là vấn đề đang được tranh luận. Bãi ngập trồng cây trên mái nhà cũng là một hình thức mái nhà xanh được sử dụng để xử lý nước thải sinh hoạt. Mái nhà xanh còn được gọi là "mái sống", mái nhà xanh phục vụ cho những mục đích khác nhau tùy theo công trình, chẳng hạn như hấp thụ nước mưa, tạo sự cách nhiệt, tạo ra một môi trường sống cho động vật hoang dã, góp phần làm giảm nhiệt độ không khí đô thị và chống hiệu ứng đảo nhiệt đô thị. Có hai loại mái xanh: một loại là mái tăng cường, dày hơn và có thể gồm nhiều loại thực vật hơn, nhưng nặng hơn và đòi hỏi bảo dưỡng nhiều hơn; thứ hai

là mái bao phủ, được phủ lên một lớp mỏng thực vật và nhẹ hơn so với mái tăng cường. Khả năng chịu tải trọng của kết cấu ngói nhà là một nhân tố chính trong việc xác định, lựa chọn kiểu loại, thiết kế cấu trúc mái nhà xanh. Cũng dựa vào nhân tố đó, mái nhà xanh được phân thành ba loại đặc trưng sau:

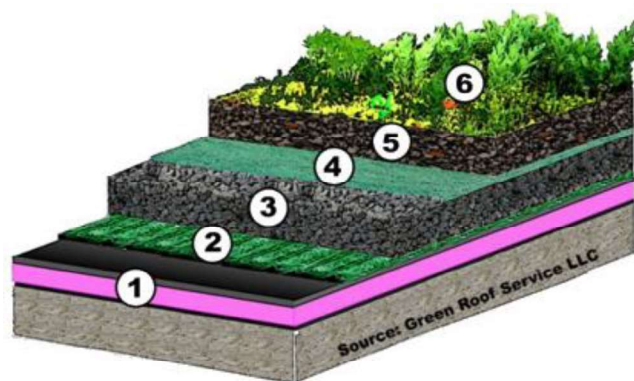
- Mái nhà xanh mỏng: Yêu cầu về chiều sâu với mái nhà xanh loại này tối thiểu là 130mm để thực vật có thể tăng trưởng tốt.
- Mái nhà xanh dày: Một mái nhà xanh dày thích hợp cho việc trồng các loại cây lâu năm với yêu cầu độ sâu trên 180mm.
- Mái nhà xanh vừa: đại diện cho một thiết kế trung gian giữa hai kiểu mái nhà xanh dày và mỏng. Bảng sau đây tóm tắt đặc điểm của các loại mái nhà xanh trên (Đình Viêt Cường 2016).

Bảng 3.1. Các loại mái nhà xanh phổ biến

Thông số	Mái nhà xanh mỏng	Mái nhà xanh vừa	Mái nhà xanh sâu
			
Tổng chiều sâu xây dựng	70 - 130 mm	130- 180 mm	Trên 180 mm
Trọng lượng	75 – 125 kG/m ²	125- 200 kG/m ²	Trên 200 kG/m ²
Các loại cây trồng phù hợp	Rêu, cây trường sinh, các loại cây giàu dinh dưỡng, thảo mộc và một vài loại cỏ	Các cây lâu năm, cây trường sinh, cỏ trang trí, cỏ và cây bụi	Các cây lâu năm, bãi cỏ, sân golf, cây xanh, cây bụi, vườn canh tác trên mái nhà
Phương pháp tưới	Không, chưa có hướng dẫn	Không hoàn chỉnh, tưới khi có yêu cầu	Có hệ thống tưới tự động
Mức độ chăm sóc, bảo trì	Thấp	Trung bình	Cao
Ứng dụng	Các nhà máy	Đa dạng, Nhà ở	Vườn, Công viên
Chi phí	Thấp	Trung bình	Cao

Theo cấu tạo lớp thoát nước của mái nhà xanh:

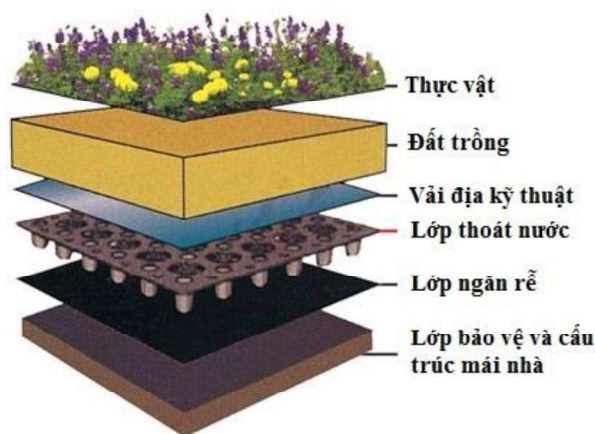
Mái nhà xanh không có lớp chứa nước: Cấu tạo của một mái nhà xanh nhất thiết phải có lớp thoát nước. Lớp thoát nước này có thể sử dụng nhiều loại vật liệu khác nhau, ví dụ như: sỏi, đá dăm, gạch vụn, ...miễn là nó có thể đảm bảo thoát nước dễ dàng, không gây ngập úng mái nhà xanh, ảnh hưởng đến sự sinh trưởng của cây trồng.



Hình 2.37. Mái nhà xanh sử dụng đá dăm cho hệ thống thoát nước

1- Cấu trúc mái nhà; 2- Lớp bảo vệ, ngăn rễ; 3- Lớp thoát nước; 4- Lớp vải địa kỹ thuật;
5- Lớp đất trồng; 6- Thực vật

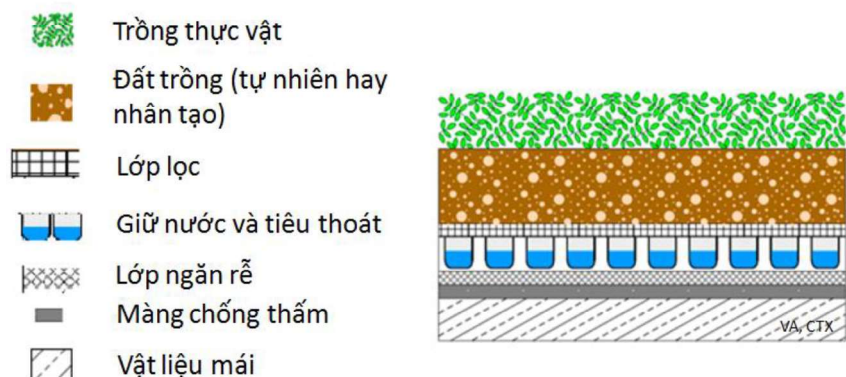
Mái nhà xanh có lớp chứa nước: Mái nhà xanh có thể được thiết kế để thu giữ hầu hết lượng nước mưa. Người ta có thể tăng cường khả năng giữ nước của mái nhà xanh bằng cách thay thế lớp vật liệu thoát nước thông thường bằng các mô-đun đúc sẵn bằng nhựa (hầu hết chúng được chế tạo có dạng chén), lớp này có thể tăng đáng kể khả năng giữ nước của mái nhà xanh.



Hình 2.38. Mái nhà xanh sử dụng các mô-đun chế tạo sẵn cho lớp thoát nước

Ngoài ra, lượng nước chứa trong lớp này có thể cung cấp nước trở lại cho cây trồng sau trận mưa theo nguyên lý mao dẫn, giúp giảm lượng nước tưới. Tuy nhiên, tùy thuộc vào chiều dày cho phép, khả năng đầu tư, bảo dưỡng cũng như các yêu cầu của mái nhà xanh mà ta có quyết định lựa chọn kiểu loại lớp thoát nước phù hợp.

Khi áp dụng mái nhà xanh, nước mưa được giữ lại trực tiếp trên mái nhà. Thông qua việc bay hơi và thoát hơi nước qua lá cây (từ thảm thực vật), nước vẫn nằm trong chu trình nước tự nhiên. Hiệu ứng giữ nước trên mái giúp làm chậm dòng chảy nước mưa một cách hiệu quả. Ngoài ra, mái nhà xanh còn là lớp cách nhiệt tốt, cải thiện chất lượng không khí trong công trình.



Hình 2.39. Mặt cắt một mái nhà xanh điển hình

Nên che phủ toàn bộ mái bởi thảm thực vật để đạt được hiệu ứng cách nhiệt cao nhất. Vật liệu lọc mái cần nhẹ. Mái nhà xanh có thể áp dụng được cả cho mái dốc. Trên thực tế mái dốc còn giúp cân bằng tải trọng tĩnh của mái nhà xanh dễ hơn và giúp tránh được các nhược điểm khác của mái bằng (ví dụ như khả năng không thoát được nước). Để đảm bảo độ bền của thảm thực vật, cần lựa chọn loại thực vật phù hợp với điều kiện khí hậu địa phương. Cần trồng các cây ưa ánh sáng. Giải pháp này thích hợp với các nước nhiệt đới.



Hình 2.40. Mái nhà xanh (Singapore)

Những lợi ích của mái nhà xanh:

- Giảm dòng chảy: Mái nhà xanh có thể giúp giảm đáng kể tốc độ dòng chảy bề mặt, lưu lượng lớn nhất của dòng chảy bề mặt, thời gian tập trung dòng chảy và thời gian kể từ khi bắt đầu mưa cho đến thời điểm dòng chảy bề mặt đạt lưu lượng lớn nhất so với một mái nhà thông thường. Nước mưa được lưu trữ trong mái nhà xanh được thông qua các lỗ rỗng của các lớp vật liệu, các cây trồng và được giải phóng trở lại không khí thông qua quá trình bốc hơi. Quá trình bốc hơi nước mưa lưu trữ trong mái nhà xanh vào bầu khí quyển phụ thuộc vào độ dày lớp vật liệu trồng cây, loại đất, loại hệ thống thoát nước, loại thảm thực vật được sử dụng và thời tiết khu vực. Vào mùa hè, mái nhà xanh

có thể giữ lại 70-80% lượng mưa và vào mùa đông chúng có thể giữ lại 10-35% tùy thuộc vào đặc điểm xây dựng. Sự khác biệt đó là do sự kết hợp của nhiều cơn mưa nhỏ vào mùa đông và sự bốc hơi nước của thực vật là ít hơn vì tăng trưởng của thực vật trong những tháng mùa đông là yếu hơn. Nói chung, diện tích bề mặt mái nhà xanh càng lớn thì khả năng giữ nước trung bình hàng năm càng lớn. Mái nhà xanh có chiều dày lớn có thể chứa đến 20% lượng mưa được lưu giữ lên đến 2 tháng.

- Giảm biến đổi khí hậu: Mái nhà xanh có thể làm giảm đáng kể nhu cầu làm mát nhân tạo của một tòa nhà, do đó làm giảm tiêu thụ năng lượng và phát thải khí cacbon dioxit.

- Thích ứng biến đổi vi khí hậu: Ngay cả trong kịch bản lạc quan nhất, lượng khí nhà kính phát sinh từ các tòa nhà ngừng ngay lập tức, các hiệu ứng khí hậu liên quan sẽ vẫn tiếp tục do sự tồn tại của các khí nhà kính đã phát sinh trong bầu khí quyển và quán tính nhiệt của các đại dương. Điều này có nghĩa là tình trạng nhiệt độ của mùa hè tăng cao và sự hình thành đảo nhiệt đô thị được dự báo là sẽ vẫn tiếp diễn. Vì lý do này các tòa nhà hiện nay phải có khả năng chống lại tình trạng biến đổi khí hậu trong tương lai. Mái nhà xanh là một trong những giải pháp hiệu quả để giúp các thành phố thích ứng với điều kiện khắc nghiệt.

- Thảm thực vật hấp thụ các chất ô nhiễm từ nước mưa: Thảm thực vật trong mái nhà xanh có khả năng hấp thụ các chất ô nhiễm từ nước mưa. Kim loại nặng, các chất dinh dưỡng và các chất có hại khác có trong nước mưa bị hấp thụ trong mái nhà xanh thay vì thải vào nước ngầm hoặc sông, suối. Hơn 95% cadmium, đồng, chì và 16% kẽm có thể được loại bỏ khỏi nước mưa. Lượng nitơ cũng có thể được loại bỏ đáng kể.

- Mái nhà xanh có thể lọc các độc tố tự nhiên, bụi và không khí: Bụi trong khí quyển có thể tồn tại ở trạng thái lơ lửng đến khi mưa rơi xuống, cuốn theo các hạt bụi và được giữ trong các lớp chất nền của mái nhà xanh. Carbon dioxide và các chất độc khác trong không khí từ không khí thành phố được hấp thụ thông qua các tán lá, qua đó không khí sẽ được làm sạch một cách tự nhiên. Một nghiên cứu của NASA cho các phòng thí nghiệm không gian thấy rằng chỉ với một cây xanh duy nhất có thể làm sạch 10 m³ khí mỗi ngày. Theo Green Roofs For Healthy Cities States²⁹, "Một mét vuông của mái nhà xanh có thể loại bỏ khoảng 0,2 kg bụi trong không khí mỗi năm."

- Tăng tuổi thọ của mái nhà: Bề mặt mái nhà liên tục chịu ảnh hưởng từ các tia cực tím và sự thay đổi nhiệt độ. Những mái nhà ở một số vùng có điều kiện thời tiết khắc nghiệt trên thế giới có thể phải chịu những biến động nhiệt rất lớn trên bề mặt giữa các thời điểm trong ngày và các mùa trong năm, một số trường hợp sự dao động có thể đạt đến trên 100°C trong một ngày. Những mái nhà xanh có thể làm tăng tuổi thọ của lớp chống thấm lên đến 2-3 lần bằng cách làm giảm nhiệt tác động trực tiếp đến các lớp này.

- Giảm sử dụng năng lượng: Mái nhà xanh đã được chứng minh là tác động tích cực đến tiêu thụ năng lượng của tòa nhà bằng cách cải thiện hiệu suất nhiệt của mái nhà, mặc dù mức độ này phụ thuộc vào điều kiện thời tiết hàng ngày và từng mùa. Một mái nhà cách nhiệt không tốt có thể tạo ra một không gian sống nóng nực trong suốt cả mùa hè dẫn đến việc gia

²⁹ <https://greenroofs.org/>

tăng nhu cầu làm mát nhân tạo hoặc nhu cầu sưởi ấm trong mùa đông. Việc xây dựng thêm các mái nhà xanh có thể giảm đáng kể việc sử dụng máy lạnh hay hệ thống sưởi ấm trong phòng. Nhiệt độ của mái nhà thông thường có thể cao hơn mái nhà có thảm thực vật xanh lên tới 21°C. Trong suốt mùa hè, năng lượng mặt trời được sử dụng bởi các cây trồng cho quá trình bốc hơi, làm giảm nhiệt độ của mái nhà xanh và vi khí hậu xung quanh. Trong những tháng mùa đông, mái nhà xanh có thể tăng cường khả năng cách nhiệt của mái nhà. Tuy nhiên hiệu quả về cách nhiệt là phụ thuộc rất lớn vào lượng nước được giữ trong các lớp vật liệu trồng cây trên mái, bởi vì nước có tác động hạn chế đến quá trình truyền nhiệt.

- Giảm bớt gánh nặng cho hệ thống thoát nước mưa cho thành phố: Những mái nhà xanh có thể làm giảm đáng kể kích thước, hoặc thậm chí loại bỏ hoàn toàn các tuyến cống thoát nước mưa hay các hồ điều hòa nước mưa nhân tạo. Mặc dù khó định lượng, nhưng nó cũng có khả năng tiết kiệm chi phí xử lý nước với các hệ thống thoát nước chung.

- Đặc tính cách âm của mái nhà xanh: Các thí nghiệm với mái nhà xanh đặt gần các sân bay mang lại kết quả tuyệt vời trong việc giảm tiếng ồn. Tùy thuộc vào mức độ phủ rộng của các mái nhà xanh mà cách âm có thể được giảm đến 8 dB. Theo công ty Erisco Bauder của Anh, "Tiếng ồn có thể giảm đến 25% cho những mái nhà xanh có diện tích lớn và có thể đạt giá trị lớn hơn nữa với các mái nhà xanh có chiều dày lớn." Số chi phí có thể tiết kiệm từ việc giảm tiếng ồn rất khó để định lượng, nó phụ thuộc chủ yếu vào độ dày của đất chất nền và các yếu tố bổ sung như sự rò rỉ âm thanh từ giếng trời trong các tòa nhà.

- Biến không gian chết trên sân thượng thành không gian sử dụng: Với một mô hình mái nhà xanh được áp dụng, không gian sân thượng lãng phí trước đây được biến thành không gian sử dụng. Một mái nhà xanh thông thường có thể chỉ đơn giản là làm đẹp cho các tòa nhà; nhưng với một mái nhà xanh có đầu tư, có không gian mở cho sự tương tác của con người, chẳng hạn như các loại hình non bộ kết hợp với mở các nhà hàng hoặc trung tâm thương mại, sẽ mang đến giá trị đối với người dân cư ngụ và các khách hàng.

- Sử dụng các sản phẩm từ quá trình tái chế cho việc xây dựng mái nhà xanh: Hầu hết các công ty thiết kế, xây dựng mái nhà xanh đều sử dụng ít nhất một vật liệu từ quá trình tái chế trong các thành phần sản phẩm khác nhau của họ. Các chất thải từ đó sẽ được lưu lại, tái chế và mang lại những giá trị kinh tế.

- Cung cấp công ăn việc làm cho lao động: Một mái nhà xanh có đầu tư có thể mở ra một thị trường kinh doanh kèm theo các dịch vụ mới và có thể tạo ra công ăn việc làm cho nhiều người. Ví dụ, mái nhà xanh có thể trở thành một vườn ươm chuyên, ngoài ra nó có thể cung cấp các dịch vụ kết hợp với kiến trúc, cảnh quan. Do vậy, nó cần đến các chuyên gia thiết kế kỹ thuật và sinh thái, cũng như một lực lượng lao động, và nhân viên bảo trì.

- Ngoài lợi ích giảm thiểu năng lượng, vật liệu sử dụng, giảm thiểu ô nhiễm môi trường và dự trữ môi trường sống, thiết kế sinh thái là cần thiết cho mục đích nâng cao điều kiện sống, sức khỏe cộng đồng. Các nhà quy hoạch thành phố, các kiến trúc sư, các kỹ sư là những người đóng vai trò quan trọng trong việc xây dựng những không gian sống sinh thái trong thành phố. Chúng ta có thể tạo ra không gian thẩm mỹ có sức hút mạnh mẽ, bền vững, gắn gũi với thiên nhiên bằng cách xây dựng các mái nhà xanh.

Những hạn chế về cấu trúc của mái nhà xanh

- Các bức tường và mái nhà của các tòa nhà có thể không đủ khả năng để chịu tải trọng tăng cường của một mái nhà xanh. Một kiểu mái nhà xanh với lớp chất nền mỏng hơn và tải trọng nhỏ hơn được gọi là mái nhà xanh "mỏng" thường có chiều sâu 50-130mm, trong khi mái nhà xanh dày hơn, tải trọng lớn hơn được gọi là mái nhà xanh "dày" và thường dày trên 180mm. Ngoài ra, một kiểu mái nhà xanh vừa giữa hai loại trên được gọi là mái nhà xanh "vừa". Tùy thuộc vào khả năng chịu tải của mỗi ngôi nhà mà ta có thể áp dụng loại mái nhà xanh với chiều dày phù hợp, tuy nhiên, ta cũng có thể có những giải pháp tăng cường khả năng chịu tải cho công trình. Mái nhà xanh chỉ có thể được xây dựng trên một mái bằng hoặc độ dốc dưới 25 độ, mặc dù vậy một số mái nhà xanh ở châu Âu đã phát triển với độ dốc trên 45 độ bằng kỹ thuật sáng tạo nhằm kiểm soát xói mòn.

- Mặc dù hầu hết các mái nhà xanh đều được thiết kế bao gồm một lớp chống thấm và một lớp bảo vệ lớp chống thấm khỏi những ảnh hưởng của gốc, rễ cây, tránh gây rò rỉ và thấm qua mái nhà, dẫn đến những tổn thương cho cấu trúc của tòa nhà. Việc kiểm tra mái nhà xanh hàng hàng năm nhằm mục đích loại bỏ các loại cây rễ cọc, giảm khả năng ảnh hưởng của rễ cây dẫn đến rò rỉ. Do cấu trúc mái nhà xanh là tương đối phức tạp nên việc tìm kiếm vị trí rò rỉ và sửa chữa nó có thể là rất khó khăn. Có thể giữ nước trên mái nhà xanh trong một khoảng thời gian để kiểm tra rò rỉ ngay sau khi lắp đặt hoặc sửa chữa tìm kiếm rò rỉ. Một số công ty cung cấp các máy phát hiện rò rỉ sử dụng tín hiệu điện tử để xác định vị trí, đường đi của nguồn rò rỉ.

- Với những mái nhà xanh vừa có chiều dày lớn có thể thích hợp cho một loạt các loại thực vật, bao gồm cây bụi và cây ăn quả. Trong khi các mái nhà xanh mỏng chỉ có thể phù hợp với một số ít các loại cây chịu hạn có rễ nông. Các loại cây trường sinh, địa y, rêu và cỏ thấp là những lựa chọn phổ biến cho các mái nhà xanh mỏng. Chúng sẽ thiếu tươi tốt và kém hấp dẫn hơn so với các cây được trồng trong đất sâu hơn. Các loại cây sống trong điều kiện này cũng kém mạnh mẽ và cũng có thể gặp khó khăn để sống sót trong điều kiện khắc nghiệt trên các mái nhà cao.

2.2.2. Cấu trúc của mái nhà xanh và tính toán thiết kế

Cấu trúc của mái nhà xanh: Một mái nhà xanh hiện đại yêu cầu có các lớp chức năng sau:

Cấu trúc gia cố mái: Mái nhà xanh thường phải chịu thêm 10-45 kG tải mỗi trên mỗi mét vuông so với mái nhà thông thường. Một mái nhà mới, cho dù làm bằng gỗ, sắt thép, hoặc bê tông, đều có thể được thiết kế để chịu thêm tải cho các mái nhà xanh với chi phí bổ sung tối thiểu (Đinh Viết Cường 2016).

Màng chống thấm: Rò rỉ nước từ mái nhà xanh có thể sẽ rất khó khăn để xác định vị trí và có thể rất tốn kém để sửa chữa hoặc thay thế. Để duy trì sự tồn tại của mái nhà xanh, lớp chống thấm cho mái nhà phải đủ khả năng để chịu được tải trọng động từ các hoạt động xây dựng phía trên. Nó cũng phải chịu được tải trọng tĩnh và tác động lượng từ nước giữ lại trong các lớp vật liệu, nó phải là vật liệu không phân hủy, và phải có khả năng ngăn cản rễ cây xuyên qua. Có thể dùng các tấm cao su, nhựa hoặc một loại vật liệu khác đảm bảo đầy đủ các yêu cầu trên. Lưu ý: Không được sử dụng các sản phẩm từ nhựa đường.

Lớp bảo vệ: Một tấm thảm tổng hợp có chức năng ngăn rễ xuyên qua và bảo vệ lớp chống thấm từ các tác động cơ học trong quá trình xây dựng và bảo trì mái nhà xanh. Lớp thảm

bảo vệ thường nặng khoảng 0.5-0.9 kG trên mỗi mét vuông.

Hệ thống thoát nước: Việc lưu trữ nước trong mái nhà xanh để giúp cây sống sót qua những giai đoạn thời tiết khô là điều rất quan trọng. Tuy nhiên, với rất nhiều loại cây trồng trên mái nhà xanh, sẽ không thể tồn tại và sinh trưởng tốt khi lượng nước dư thừa không được nhanh chóng rút ra khỏi vùng rễ cây. Sự kết hợp tối ưu giữa lưu trữ nước và thoát nước nhanh chóng có thể được thực hiện bằng cách sử dụng một số sản phẩm tiêu thoát nước và lưu trữ như: vật liệu vô cơ dạng hạt, các tấm nhựa có cấu tạo lỗ để giữ nước hoặc các tấm được cán mỏng có dạng gợn sóng.

Vải địa kỹ thuật: Để các lớp giữ nước và lớp thoát nước hoạt động tốt cần giữ cho nó không bị tắc bởi các hạt đất. Vải địa kỹ thuật có thể ngăn các hạt đất đi qua đồng thời với một cấu trúc đặc biệt nó có thể chống tắc nghẽn từ các hạt đất mịn như bùn hoặc đất sét.

Lớp đất trồng: Đất dùng cho mái nhà xanh không phải là đất thông thường. Nó phải có trọng lượng nhẹ, có đặc tính giữ nước tốt, có hàm lượng hữu cơ thấp, có các thông số hóa học thích hợp và các hạt đất phải có cấp phối tốt.

Thực vật: Cây trồng trên mái nhà xanh phải tồn tại trong một môi trường khắc nghiệt trên các mái nhà, thường là nóng và khô. Mái nhà xanh mỏng thường yêu cầu các loại cây trường sinh và các loại thảo mộc, trong khi mái nhà xanh dày thường có thể trồng một loạt các thực vật bản địa. Sự kết hợp của những yếu tố trên sẽ quyết định tải trọng, độ dốc cho phép, các loại thực vật được sử dụng và khả năng lưu giữ nước mưa của mái nhà xanh.

Tính toán mái nhà xanh

Phương trình cân bằng nước của mái nhà xanh (Mike Hardin, Martin Wanielista et al. 2012):

$$Q_m + q_d + I = Q_t + q_s + E_{bh} + T_{th}$$

Trong đó:

Q_m : lưu lượng mưa (mm);

q_d : lượng nước của đất ban đầu (mm);

I : lượng nước tưới (mm);

Q_t : lượng nước thoát ra (mm);

q_s : Lượng nước chứa trong đất độ ẩm lúc sau của đất (mm);

E_{bh} : lượng nước bốc hơi của đất (mm);

T_{th} : lượng nước thoát hơi của cây (mm);

Lượng nước được giữ lại tối đa trong các lớp vật liệu của mái nhà xanh của tòa nhà được tính toán theo công thức sau đây:

$$S_v = S_A \times [(d \times \eta_1) + (DL \times \eta_2)]$$

Trong đó:

Diện tích mái nhà xanh S_A

Chiều dày lớp đất trồng d

Độ rỗng của đất trồng $\eta_1 = 0,15$

Chiều dày lớp vật liệu thoát nước DL

Độ rỗng của lớp vật liệu thoát nước $\eta_2 = 0,15$

Lượng nước thoát ra từ mái nhà xanh được tính theo công thức:

$$Q_r = Q_m + I + Q_d - Q_s - ET_c$$

Tại một thời điểm xác định, lượng nước thoát ra có thể được tính bằng (*hiệu số giữa lượng mưa*) – (*lượng nước tối đa mà mái nhà xanh có thể chứa tại thời điểm đó*).

Thời gian bắt đầu hình thành dòng chảy từ mái nhà xanh :

Thời gian này được tính toán theo công thức của Green and Ampt (1911):

$$t_p = \frac{F_p}{P}, h$$

Trong đó:

Lượng nước thấm qua trước khi hình thành lớp nước bề mặt:

$$F_p = \frac{|\psi_f| K_s (\theta_s - \theta_i)}{P - K_s}, cm$$

ψ_f : độ sâu front ướt, với đặc điểm của đất trồng chọn $\psi_f = 20,88cm$

K_s : độ dẫn thủy lực bão hòa, lấy $K_s = 0,1 \text{ cm/h}$

θ_s : lượng ẩm bão hòa của đất, lấy $\theta_s = 0.5$

θ_i : lượng ẩm ban đầu của đất, xác định bằng công thức: $\theta_i = \theta_s \times (\text{lượng nước ban đầu trong MNX})/(\text{lượng nước tối đa MNX có thể giữ})$

P: cường độ mưa, cm/h. Xác định theo từng trận mưa.

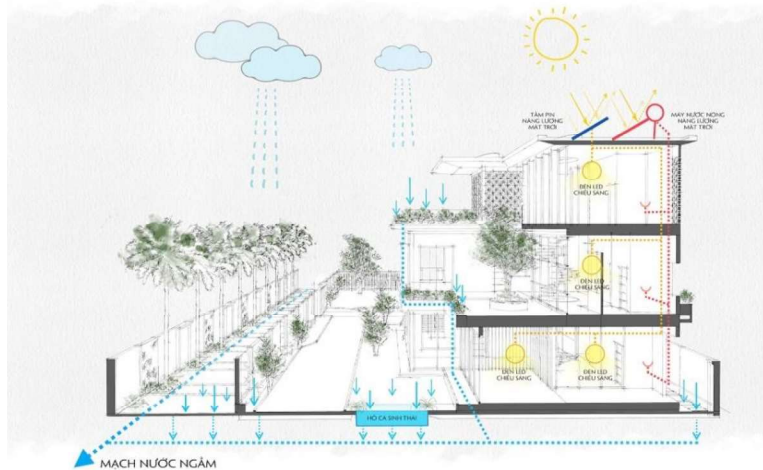
Cây trồng cho mái nhà xanh

Mái nhà xanh mỏng: Cây trồng ở mái nhà xanh mỏng phải tồn tại được trong điều kiện hạn hán, tiếp xúc với gió mạnh, bức xạ mặt trời, chế độ cung cấp dinh dưỡng thấp, nhiệt độ khắc nghiệt và hạn chế sự phát triển của rễ. Các loại cây trồng đủ các điều kiện này thường là các loài cây mọng nước. Các cây trồng này có khả năng tích lũy lượng nước lớn trong lá, có thể tồn tại dễ dàng trong thời kỳ hạn hán. Điều cần thiết là xem xét lựa chọn các loài cây trồng địa phương để tăng cường đa dạng sinh học. Theo kinh nghiệm của nhiều chuyên gia, thảm thực vật của mái nhà xanh mỏng là các loài cây thân thấp, phát triển tốt, nhanh hình thành hệ rễ, có khả năng lan rộng, lá mọng nước và có khả năng tích lũy nước, khả năng tái sinh hiệu quả và rễ nông (Arabi 2015)

Mái nhà xanh dày: Khả năng chịu tải của cấu trúc tòa nhà là yếu tố quan trọng nhất để xem xét lựa chọn cây trồng. Để tăng khả năng chịu tải của cấu trúc mái nhà có thể phải bổ sung thêm các tường chịu lực. Cây trồng càng cao càng phải chịu nhiều sức cản của gió, càng làm tăng tải trọng lên mái nhà cũng như kết cấu nhà. Ngoài ra, kích thước của tán lá cũng tạo ra những ảnh hưởng tiêu cực từ gió. Để hỗ trợ cho các cây lớn tránh ảnh hưởng từ gió có thể dùng các biện pháp neo, chống.

2.2.3. Thu gom nước mưa trong các mái nhà xanh

Giảm tiêu thụ nước, sử dụng nước hiệu quả và bảo vệ chất lượng nước là những mục tiêu chính trong công trình thân thiện môi trường. Việc xử lý và tái sử dụng nước thải, duy trì vòng đời nước lâu dài trong công trình xanh tại Việt Nam còn chưa được phổ biến do chi phí cao và phức tạp. Việc thiết kế hệ thống thoát nước mưa, thu gom sử dụng nước mưa cho các mục đích tưới cây, rửa hay ăn uống sẽ giúp giảm tiêu thụ nguồn nước, năng lượng cho công trình xanh và đây cũng là giải pháp kỹ thuật hiệu quả với chi phí thấp hơn so với việc xử lý tái sử dụng nước thải khi xây dựng công trình xanh.



Hình 2.41. Mô hình sử dụng nước mưa trong công trình xanh

Nước mưa được thu gom trực tiếp để tưới cây hay bổ cập cho hồ cá vừa tiết kiệm nước sạch vừa giúp tạo cảnh quan công trình, việc thiết kế các mặt phủ sỏi, cây cỏ sân vườn, giúp nước mưa có thể bổ cập xuống cho các mạch nước ngầm. Ngoài việc sử dụng trực tiếp nước mưa, nước mưa cũng có thể thu gom vào các bể lớn đặt ngầm hoặc bên ngoài công trình và được sử dụng cho mục đích cấp nước cứu hỏa hay tiếp tục được xử lý để cấp nước cho mục đích ăn uống.



Hình 2.42. Sử dụng nước mưa để tưới mái nhà xanh và bổ cấp cho bể nuôi cá



Hình 2.43. Mái nhà xanh sử dụng nước mưa tại Trường ĐHXDHN

CHƯƠNG 3. QUẢN LÝ THU GOM, SỬ DỤNG NƯỚC MƯA

4.4. Những rào cản, thách thức khi thực hiện thu gom nước mưa

Vấn đề lớn nhất gây cản trở việc lắp đặt các hệ thống thu gom nước mưa cho Việt Nam đó là chưa có các quy định pháp lý về đảm bảo trữ lượng và chất lượng nước mưa tùy theo mục đích sử dụng, chưa có các hướng dẫn kỹ thuật lắp đặt và thi công các mô hình thu gom và sử dụng nước mưa cho các mục đích khác nhau. Hiện mới chỉ có các hệ thống nước mưa được xây dựng theo kinh nghiệm, các mô hình tự phát, một số dự án trình diễn.

Do nhu cầu dùng nước cho các hoạt động ăn uống, sinh hoạt, sản xuất vườn, phục vụ cộng đồng và các tòa nhà là khác nhau nên quy mô của hệ thống thu gom nước mưa tương ứng cũng sẽ khác nhau. Trong khi đó, lượng mưa phân bố không đều theo vị trí địa lý, theo mùa, ảnh hưởng đến trữ lượng nước mưa thu gom được trong mùa mưa và mùa khô. Ngoài ra, do diện tích các mái nhà hộ gia đình thường nhỏ, thể tích bể chứa nước chưa đáp ứng được nhu cầu sử dụng nước, nhất là vào mùa khô.

Các trạm quan trắc, đo mưa chưa cấu thành một mạng lưới đầy đủ và toàn diện. Chính sách liên quan đến việc quản lý, chia sẻ, khai thác các dữ liệu mưa cho từng địa phương cụ thể chưa được thiết lập, dẫn đến khó khăn trong việc thiết kế và xác định kích thước các bộ phận trong hệ thống thu gom nước mưa. Dữ liệu về lượng mưa ngày cần được cung cấp để xác định thể tích bể chứa thích hợp, tuy nhiên dữ liệu này lại không có sẵn hay khó tiếp cận.

Chất lượng nước mưa phụ thuộc vào chất lượng môi trường không khí, mái hứng và quá trình lưu trữ. Nước mưa rất dễ bị nhiễm bẩn nếu bề mặt thu gom nước mưa chứa các chất bẩn như phân chim, lá cây thối rữa, kim loại nặng do mái nhà cũ bị gỉ sét, vật liệu fibro xi măng, v.v. Trong quá trình lưu giữ nước mưa, bể chứa hay công trình thu gom không đảm bảo điều kiện vệ sinh hoặc không được vận hành, bảo dưỡng đúng cách cũng làm giảm chất lượng nước mưa. Trong bối cảnh chưa có hướng dẫn kỹ thuật cụ thể về các biện pháp thu gom, xử lý, lưu trữ và sử dụng nước mưa, có nguy cơ nhiều hệ thống được lắp đặt không đảm bảo được chất lượng nước mưa cho mục đích ăn uống và sinh hoạt. Các biện pháp kiểm soát chất lượng nước mưa, quy trình vận hành và bảo dưỡng hệ thống chưa được tiêu chuẩn hóa hay quy định trong các văn bản pháp lý, mà mới chỉ dựa vào kinh nghiệm dân gian hoặc khuyến cáo của các chuyên gia.

Trong bối cảnh chưa có các chính sách cụ thể liên quan đến quản lý và sử dụng nước mưa; các mô hình thu gom nước mưa được áp dụng tại Việt Nam chủ yếu được thực hiện ở quy mô hộ gia đình, do tự gia đình chi trả. Một số dự án thu nước mưa quy mô công trình công cộng được tài trợ bởi các tổ chức, cá nhân trong nước và quốc tế, như dự án hợp tác giữa Việt Nam và GIZ – Đức, dự án hợp tác với SNU, KOICA, KEITI, Hàn Quốc, vv... Việc áp dụng các mô hình nước mưa cho các mục đích sử dụng khác nhau đã và đang đối mặt với những thách thức về mặt tài chính từ giai đoạn chuẩn bị đầu tư đến giai đoạn vận hành hệ thống sau đầu tư.

Rào cản lớn nhất trong lắp đặt hệ thống nước mưa là khó khăn về vốn đầu tư ban đầu. Theo điều tra khảo sát của Trường Đại học Xây dựng tại vùng nông thôn Đồng bằng sông Hồng, khoảng 40% hộ gia đình (trong khoảng hơn 100 hộ được khảo sát) không có đủ chi phí để tự đầu tư hệ thống thu gom và sử dụng nước mưa cho sinh hoạt, khi chi phí đầu tư ban đầu cho 1

hệ thống thu gom nước có dung tích bể chứa 2 m³ dao động từ 200 – 400 USD. Mức đầu tư này cao hơn thu nhập trung bình hàng tháng từ 4 đến 8 lần. Mặt khác, do chưa có các quy định cụ thể liên quan đến tài trợ hoặc khuyến khích về mặt tài chính như giảm tiền nước hàng tháng, giảm giá dịch vụ thu gom và xử lý nước thải, nên việc triển khai và thúc đẩy sử dụng nước mưa còn hạn chế ở quy mô hộ gia đình hay các cụm dân cư. Bên cạnh chi phí đầu tư, hiện nay các hộ gia đình đều đang tự chi trả tiền vận hành hệ thống (chi phí tiền điện, thay thế thiết bị khi hỏng hóc) nên rất nhiều hệ thống không được duy trì hoạt động sau 1 thời gian lắp đặt.

Hiện nay vẫn chưa có các hành lang pháp lý để thể chế hóa quản lý nước mưa cho các đối tượng khác nhau trên địa bàn đô thị, nông thôn, cơ sở sản xuất, kinh doanh, dịch vụ, khu du lịch... Mặc dù tỉ lệ người dân tin tưởng vào việc sử dụng nước mưa là khá cao (81%) nhưng do các hệ thống nước mưa trước đây không được vận hành vào bảo dưỡng tốt và không có các văn bản hướng dẫn cụ thể từ các cấp nên các hệ thống nước mưa còn chưa được ứng dụng rộng rãi.

Các hướng dẫn liên quan đến quản lý nước mưa mới chỉ được đề cập trong một số văn bản như Luật Tài nguyên nước về khuyến khích thu gom và sử dụng nước mưa, Thông tư 32, 2011/BTNMT về giám sát nước mưa nhưng mới chỉ tập trung vào chất lượng nước mưa, Nghị định 80/NGG-CP về Thoát nước đô thị, các nghị định và thông tư hướng dẫn thi hành Luật Tài nguyên nước.

Việt Nam chưa có các chính sách cụ thể liên quan đến quản lý và sử dụng hiệu quả nước mưa, mới chỉ có một số quy định về quản lý hệ thống thoát nước và xử lý nước thải có gắn thêm các chương trình quản lý nước mưa, tiến tới thoát nước bền vững cho đô thị.

Theo Nghị định số 80/2014/NĐ-CP, tổ chức thoát nước mưa là một nội dung trong hệ thống thoát nước thải đô thị. Nước mưa được tiêu thoát qua hệ thống thoát nước hỗn hợp hoặc hệ thống thoát nước riêng bằng các tuyến cống. Nước mưa nếu được thu gom cần được lưu trữ tại các hồ điều hòa. Các chính sách liên quan đến quản lý hệ thống thoát nước mưa và tái sử dụng nước mưa được quy định tại Điều 20, Nghị định số 80/2014/NĐ-CP. Các chính sách về quản lý công trình hồ điều hòa lưu trữ nước mưa và tạo cảnh quan môi trường sinh thái được quy định tại Điều 21, Nghị định số 80/NĐ-CP của Chính phủ.

Theo Nghị định số 54/2015/NĐ-CP của Chính phủ quy định về ưu đãi đối với hoạt động sử dụng nước tiết kiệm, hiệu quả; trong đó, hoạt động thu gom và tái sử dụng nước mưa được chú ý cho mục đích sinh hoạt và tưới tiêu trong nông nghiệp.

Theo Nghị định này, các hoạt động sử dụng nước tiết kiệm, hiệu quả được hưởng ưu đãi gồm tái sử dụng nước, sử dụng nước tuần hoàn; thu gom nước mưa để sử dụng cho sinh hoạt; khử muối từ nước lợ, nước mặn thành nước ngọt để sử dụng cho mục đích sinh hoạt; sản xuất, nhập khẩu sản phẩm, thiết bị, công nghệ sử dụng nước tiết kiệm; áp dụng công nghệ, kỹ thuật, biện pháp tưới tiết kiệm nước trong sản xuất nông nghiệp. Trong đó, hoạt động tái sử dụng nước, sử dụng nước tuần hoàn được vay vốn ưu đãi theo quy định của pháp luật về tín dụng đầu tư của Nhà nước; được miễn, giảm thuế thu nhập doanh nghiệp theo quy định của pháp luật về thuế. Hoạt động đầu tư sản xuất sản phẩm, thiết bị, công nghệ sử dụng nước tiết kiệm được vay vốn ưu đãi theo quy định của pháp luật về tín dụng đầu tư của Nhà nước; được miễn, giảm thuế thu nhập doanh nghiệp đối với phần thu nhập có được từ hoạt động đầu tư sản xuất

sản phẩm, thiết bị, công nghệ sử dụng nước tiết kiệm theo quy định của pháp luật về thuế. Còn hoạt động nhập khẩu sản phẩm, thiết bị, công nghệ tiên tiến tiết kiệm nước được miễn, giảm thuế nhập khẩu theo quy định của pháp luật về thuế.

Cũng theo Nghị định này, đối với, hoạt động thu gom nước mưa; khử muối từ nước lợ, nước mặn thành nước ngọt; áp dụng công nghệ, kỹ thuật, biện pháp tưới tiết kiệm nước trong sản xuất nông nghiệp được vay vốn ưu đãi theo quy định của pháp luật về tín dụng đầu tư của Nhà nước. Nghị định quy định rõ, tổ chức, hộ gia đình, cá nhân thực hiện nhiều hoạt động sử dụng nước tiết kiệm, hiệu quả thuộc trường hợp được hưởng ưu đãi thì được hưởng ưu đãi tương ứng với các hoạt động đó theo quy định. Một hoạt động sử dụng nước tiết kiệm, hiệu quả nếu được hưởng các hình thức, mức ưu đãi khác nhau theo quy định của pháp luật thì tổ chức, hộ gia đình, cá nhân được lựa chọn hình thức, mức ưu đãi có lợi nhất; không ưu đãi đối với hoạt động đầu tư thiết bị, công nghệ tiết kiệm nước lạc hậu.

Hiện vẫn chưa có các chương trình chiến lược và hành động để thúc đẩy ứng dụng mô hình nước mưa từ cấp độ Trung ương đến địa phương dẫn tới việc thực hiện triển khai còn không được thống nhất, đồng bộ.

Việc sử dụng nước mưa để cung cấp nước sinh hoạt nên có sự tham gia của Bộ Y tế (về chất lượng nước mưa) và Bộ Xây dựng (về công trình, hệ thống thu gom nước mưa). Hơn nữa, thiếu nhận thức chung và kiến thức về thu gom và sử dụng nước mưa trong các cư dân đô thị, nông thôn, các chuyên gia và các nhà hoạch định chính sách ở Việt Nam. Cùng với đô thị hóa, việc cung cấp nước tập trung được xem là nguồn nước phổ biến và trở thành thói quen, công nghệ thu gom nước mưa nói chung bị lãng quên.

Hầu hết cư dân đô thị có nhận định tiêu cực đối với nước mưa. Nguyên nhân chính là (1) thất bại trong việc thực hiện hệ thống thu gom nước mưa trước đây, (2) thiếu không gian bố trí hệ thống thu trữ và (3) liên quan đến chất lượng nước mưa vì hầu hết các khu đô thị đều bị ô nhiễm. Trong khi ở khu vực nông thôn, người dân có suy nghĩ tích cực hơn về nước mưa. Khoảng 81% người dân được khảo sát cho thấy sự tin tưởng đối với nước mưa. Bởi vì nước mưa là sự lựa chọn duy nhất hay quan trọng trong cấp nước ở nhiều nơi khu vực nông thôn, và đã được thực hiện từ rất lâu.

4.5. Giải pháp về mặt chính sách

Pháp lý hóa việc quản lý nước mưa: Các cơ quan có liên quan đến quản lý quy hoạch, xây dựng đô thị ở địa phương cần xây dựng và ban hành các quy chế, qui định, tiêu chuẩn xây dựng để đảm bảo quản lý nước mưa chặt chẽ cả về chất lượng và số lượng, hạn chế tối đa tác động tiêu cực do nước mưa mang lại. Các tiêu chuẩn này là một phần được tích hợp trong tiêu chuẩn thiết kế, quy chế xây dựng cho phép người kỹ sư công trường thiết kế và tính toán phân cấu trúc kiểm soát nước mưa vào các dự toán công trình. Thực hiện việc cấp chứng chỉ quản lý nước mưa cho các qui hoạch mặt bằng dự án nhằm khuyến khích các nhà đầu tư thực hiện qui hoạch mặt bằng tốt hơn để giảm lưu lượng nước chảy tràn và giảm tải ô nhiễm từ các nguồn phân tán. Tiêu chuẩn về bảo vệ và tránh ngập úng cho khu vực xung quanh phải được áp dụng. Điều này bắt buộc nhà qui hoạch phải kiểm soát dòng chảy lũ đổ ra từ mặt bằng xây dựng sao cho lượng nước thoát ra khi công trình đi vào hoạt động không làm tăng dòng chảy tràn so với

trước khi có công trình, nghĩa là không làm gia tăng mức ngập đối với vùng khác. Tùy thuộc vào từng điều kiện mặt bằng sẽ qui định những tiêu chuẩn quản lý nước mưa tương ứng.

Thu phí quản lý nước mưa: Kế hoạch quản lý nước mưa bền vững là một công cụ quan trọng giúp chính quyền địa phương xem xét các vấn đề tốt xấu do nước mưa mang đến ở hiện tại và trong tương lai, cũng như có thể điều chỉnh các giải pháp về quản lý nước mưa. Kế hoạch này phải xét đến tất cả các hoạt động như năng lực hệ thống thoát, mức độ ngập úng, phân tích chi phí và lợi ích, đánh giá rủi ro có thể gặp phải. Từ thực tế nêu trên, địa phương có thể chọn giải pháp thu một khoản phí dựa trên tổng chi phí sử dụng cho việc cải tiến và bảo dưỡng hệ thống xử lý nước mưa, nhất là khi thực thi các giải pháp chống ngập.

Căn cứ các tài liệu chính sách hiện nay, như Nghị định 80/NĐ-CP, quy hoạch thoát nước và việc thực hiện các dịch vụ quản lý thoát nước và chống ngập úng đô thị, bao gồm các thách thức của biến đổi khí hậu, đòi hỏi sự cập nhật chức năng, vai trò và trách nhiệm của nhiều bên liên quan ở cấp tỉnh, thành phố và phường xã. Các tổ chức thể chế, khung pháp lý và quy trình lập quy hoạch cần phải được cập nhật theo các bước quan trọng sau đây:

Trước tiên, chính quyền địa phương cần phải phê duyệt *kế hoạch định hướng cấp địa phương* đối với thoát nước đô thị, quản lý và tái sử dụng nước mưa. Định hướng cần phải vạch ra tầm nhìn, các mục tiêu, các giải pháp và các ưu tiên của tỉnh đối với Vận hành & Bảo dưỡng hệ thống thoát nước đô thị và các biện pháp chống ngập úng, cũng như vạch ra vai trò và trách nhiệm của các bên liên quan để lập quy hoạch, quản lý và vận hành các hệ thống thoát nước. Một kế hoạch hành động cho việc thực thi định hướng cấp tỉnh cần phải được xây dựng hàng năm, giúp cập nhật định hướng và vạch ra các nhiệm vụ để tiến hành các công việc ưu tiên nhằm triển khai định hướng.

Thứ hai, chính quyền địa phương cần phải phê duyệt *khung pháp lý* cho việc thực hiện nhất quán vận hành và bảo dưỡng các hệ thống thoát nước và các biện pháp chống ngập úng và ứng phó với biến đổi khí hậu. Khung này sẽ bao gồm quy định cấp địa phương đối với vận hành và bảo dưỡng các hệ thống thoát nước hiện trạng và các biện pháp chống ngập úng, hợp đồng quản lý thực hiện và lộ trình giá.

Thứ ba, chính quyền địa phương nên phê duyệt *cơ chế phối hợp* để quy định các chức năng quản lý nhà nước đối với quản lý ngập úng và thoát nước đô thị.

Cuối cùng, cần nâng cấp *thiết lập tổ chức và quản lý* nhà cung cấp dịch vụ thoát nước và các giải pháp chống ngập úng để có thể tiến hành hiệu quả công tác vận hành và bảo dưỡng và ứng phó với các vấn đề biến đổi khí hậu đang nổi lên; công ty dịch vụ chuyên trách (các công ty cấp / thoát nước /.../...) cần bắt đầu cung cấp các dịch vụ này. Khi các điều kiện được phổ biến, thì có thể tiến hành đấu thầu cạnh tranh.

Nhà nước cần đầu tư hỗ trợ các hộ dân nghèo miền núi, biển đảo, ngư dân, vùng nông thôn, thành phố một hệ thống dự trữ và lọc nước mưa. Sẽ giải quyết được những vấn nạn về thiếu nước, thiếu điện, ngập lụt, ô nhiễm môi trường khi nhà nước và toàn dân cùng làm, nhà nước vừa tiết kiệm rất lớn tiền đầu tư cho các nhà máy nước và chống ngập lụt vì chi phí để mua túi đựng nước mưa tặng các hộ dân nghèo chưa bằng 1% số tiền đầu tư cho cấp nước và chống ngập lụt, mà hiệu quả thì vô cùng lớn. Người dân sẽ có được ý thức và kiến thức luôn luôn chủ

động trong việc sử dụng nước mưa, năng lượng tái tạo trong mọi điều kiện hoàn cảnh của đất nước khi có thiên tai, nhân tai, thảm họa, các nhà máy điện, nước không cung cấp được.

Nhà nước cần sớm đưa vào luật xây dựng về bắt buộc sử dụng nước mưa và tiết kiệm năng lượng như các nước đã làm với các công trình xây dựng qui mô lớn như các nhà máy, siêu thị, cao ốc, công viên, sân bay... sẽ mang lại một hiệu quả to lớn từ việc tiết kiệm này. Các cơ quan nhà nước có trách nhiệm hãy bắt tay ngay vào những việc này vì chúng ta đã quá lãng phí và đang lãng phí khi hàng ngày nắng, mưa, gió là tài nguyên tái tạo của đất nước đang không được sử dụng bị bỏ phí, trong khi chỉ lo khai thác vốn tự có của đất nước là tài nguyên không tái tạo vừa gây cạn kiệt đất mẹ và ô nhiễm môi trường³⁰.

Để chính sách quản lý nước mưa được thi hành một cách hiệu quả, cứ mỗi 10 năm Bộ Xây dựng cần đề xuất xây dựng hay cập nhật chương trình quốc gia về quản lý nước mưa. Thành phố trực thuộc trung ương, thành phố trực thuộc tỉnh và các quận cần xây dựng kế hoạch thực thi quản lý nước mưa dựa theo chương trình quốc gia trên.

Để thẩm định và điều chỉnh các chính sách quốc gia quan trọng liên quan đến quản lý nước mưa, một Ủy ban quản lý nước mưa sẽ được thiết lập dưới sự điều hành của Thủ tướng. Thủ tướng là trưởng ban điều hành.

Để thẩm định và điều chỉnh kế hoạch thực hiện, thành phố trực thuộc trung ương, thành phố trực thuộc tỉnh và các quận cũng sẽ thành lập Ủy ban quản lý nước mưa. Trưởng ban điều hành là Chủ tịch UBND thành phố hoặc chủ tịch quận.

Hộ gia đình, chủ cơ sở có chứng nhận đã lắp đặt, vận hành thiết bị quản lý nước mưa sẽ được giảm thuế, tiền nước và chi phí khác, được nới lỏng quy định xây dựng theo một số tiêu chuẩn đã được Thủ tướng đặt ra.

Một số nội dung chính của quy định quản lý nước mưa:

- Mục đích và chiến lược của kế hoạch quản lý nước mưa.
- Mục tiêu quản lý nước mưa theo khu vực. Phương án phân chia lưu vực.
- Cấu tạo và quản lý thiết bị quản lý nước mưa.
- Quản lý diện tích bề mặt không ngấm nước.
- Các mục cần thiết khác.

Để quản lý hiệu quả nước mưa, người có ý định xây dựng hoặc tu sửa các công trình kiến trúc; hoặc người muốn lắp đặt các thiết bị công cộng, thiết bị thể thao văn hoá, thiết bị giao thông, thiết bị lưu thông,... lớn hơn quy mô quy định, phải lắp đặt và vận hành thiết bị quản lý nước mưa.

Tiêu chuẩn quản lý thiết bị của thiết bị quản lý nước mưa và các hạng mục cần thiết khác được Bộ Xây dựng quy định.

³⁰ <http://bientoan canh.vn>.

Quốc gia và cơ quan địa phương có thể giảm thuế và chi phí theo quy định trong luật cho người nhận chứng nhận của thiết bị quản lý nước mưa nếu tương ứng với một trong các điểm sau đây.

- Thuế thu nhập doanh nghiệp;
- Phí bảo vệ môi trường;
- Giá sử dụng nước sạch hoặc giá dịch vụ thoát nước và xử lý nước thải.

Hàn Quốc cho phép người lắp đặt thiết bị quản lý nước mưa được nói lỏng hạn chế xây dựng lên đến 85%, nói lỏng quy định về diện tích sử dụng và chiều cao lên đến 115%.

Đầu tư cho người dân, nhất là nông dân nghèo có đủ điều kiện tích chứa tận dụng nước mưa sẽ mang nhiều lợi ích thiết thực và hết sức có ý nghĩa về nhiều mặt, cả chính trị, xã hội lẫn kinh tế, môi trường và văn hoá đời sống... Như về chính trị là thể hiện sự chăm lo cho dân có nước sạch để uống và sinh hoạt an toàn nhằm đảm bảo sức khỏe, ngăn ngừa các loại bệnh tật nguy hiểm để khỏi phải tốn các khoản kinh phí phòng chống các loại dịch bệnh nguy hiểm. Về lợi ích kinh tế, nhà nước sẽ đỡ phải đầu tư các công trình nước phục vụ sản xuất, dân sinh tốn kém mà ít thiết thực, vì nhiều người vùng sâu vùng thưa dân không được xài và không xài được nhiều do phải đóng tiền mua nước cho nhà đầu tư. Về môi trường sẽ góp phần làm giảm việc khai thác tầng nước ngầm đang có nguy cơ nhiễm bẩn và cạn kiệt nhiều nơi, đồng thời làm giảm lượng nước mưa chảy tràn gây ngập và hoà vào nước bề mặt thành nước bẩn gây ô nhiễm rộng hơn, phải xử lý lượng nước nhiều hơn... Nhưng việc đầu tư cho dân lúc này còn có một ý nghĩa lớn hơn là kích cầu tiêu thụ sắt thép, xi măng..., tạo công ăn việc làm cho người lao động trong thời buổi kinh tế suy thoái, nhiều người thất nghiệp, hàng hoá mọi thứ đều ế ẩm mà giá cả vẫn cao, đời sống ai cũng đều có khó khăn. Nhưng cần nhấn mạnh hiệu quả và ý nghĩa lớn nhất là khi được dùng nước sạch người dân sẽ tránh vướng các loại bệnh dịch nguy hiểm, sức khoẻ tốt hơn và tiết kiệm được tiền chạy thuốc để có tích lũy làm kinh tế hộ bền vững. Đây quả là kênh đầu tư có ý nghĩa tác động tích cực vào nền kinh tế không chỉ trước mắt mà còn giúp giảm căng thẳng về nhu cầu nước cho lâu dài, nên từng địa phương cần hình thành một chương trình mục tiêu nhỏ về giải quyết nước sạch lồng ghép trong việc xoá đói giảm nghèo, trong hỗ trợ xây dựng nông thôn mới để đáp ứng đạt các tiêu chí quy định.

Vì những lợi ích trước mắt và lâu dài về nhiều mặt như nêu trên, nhà nước cần có chương trình đầu tư hỗ trợ, khuyến khích nhân dân tận dụng, khai thác tốt nguồn nước mưa sạch hợp lý, đặc biệt nên có chính sách phù hợp cho các vùng khó khăn về nước sạch, để từng hộ dân có thể xây dựng được các hồ nước, bể chứa, đập trữ nước mưa phục vụ sản xuất cải thiện đời sống. Đây sẽ là kênh đầu tư hết sức có ý nghĩa và thiết thực về nhiều mặt, từ chính trị, xã hội đến kinh tế, đời sống và cả vấn đề môi trường, nhất là cho nhiều người dân nghèo nông thôn³¹.

Trước hết, nên áp dụng thu gom nước mưa cho các công trình công cộng. Các biện pháp khuyến khích cần được ban hành. Sau đó việc thu gom nước mưa sẽ được coi như bắt buộc.

³¹<http://lienhiephoicamau.com.vn/Thong-tin-Khoa-h%E1%BB%8Dc-Kinh-t%E1%BA%BF-Van-hoa-Xa-h%E1%BB%99i/can-tan-dung-khai-thac-tot-nguon-nuoc-mua-tai-cho.html>

Giai đoạn sau, đưa vào tiêu chuẩn thiết kế, cấp phép phê duyệt xây dựng nhà. Tiến tới kể cả hộ gia đình cũng phải thu gom nước mưa, hoặc phải đóng tiền thoát nước nhiều hơn.

Để chống úng ngập đô thị, có thể có ba cách làm: (1) tăng tiết diện cống, lắp đặt thêm cống, trạm bơm cưỡng bức, đào các hồ điều hòa; (2) xây các bể ngầm lớn, kết hợp bãi đỗ xe hay hầm trú ẩn, tận dụng chênh lệch nhiệt độ trong hầm ngầm và trên mặt đất để làm mát không khí, ...; (3) làm các bể nhỏ, phân tán để thu nước mưa, triển khai làm dần từng bước, nhà nước và nhân dân cùng làm. Biện pháp này có thể được triển khai kết hợp với hệ thống hồ đô thị, thăm cỏ, ... cho phép vừa thấm nước mưa, làm chậm dòng chảy, vừa là nơi thấm nước sau mưa khi xả bể, tràn bể khi mưa lớn, ...

Các giải pháp này làm đồng bộ sẽ có kết quả. Nhưng không nhất thiết phải làm ngay, mà có thể làm từng bước. Quan trọng là có quy hoạch, thiết kế nhất quán, và tuân thủ quy hoạch này.

Không nên coi thu, lưu trữ và sử dụng nước mưa là việc đơn giản. Đây là cách làm truyền thống, nhưng cần có nguyên tắc, không làm tùy tiện, thô sơ. Áp dụng các giải pháp công nghệ mới, các thiết bị tiên tiến, lồng ghép với các hệ thống kỹ thuật hạ tầng khác là cần thiết. Ví dụ như kết nối với internet, cải tiến công nghệ dự báo KTTV, lắp các sensor đo mực nước bể, kiểm soát tự động chất lượng nước bể, lắp đặt các hệ thống điều khiển từ xa trong xử lý sơ bộ và xử lý bậc sau, xử lý nâng cao, các hệ thống điều khiển trung tâm, ... Một số nước đã áp dụng công nghệ GIS, wireless để kiểm soát chất lượng nước mưa và số lượng nước mưa ...

Cần áp dụng các giải pháp đồng bộ như thu gom, xử lý và tái sử dụng nước mưa trong đô thị theo mô hình phân tán, tăng cường lưu trữ nước mưa, thấm và bổ cập cho nguồn nước ngầm, tiết kiệm nước trong sử dụng, xử lý và tái sử dụng nước thải, để giải quyết vấn đề khan hiếm nước sạch cấp cho đô thị, suy thoái nguồn nước ngầm, đồng thời góp phần quan trọng để giảm thiểu tình trạng úng ngập trong thành phố. Kế thừa kinh nghiệm từ ngàn năm của ông cha ta trong thu gom, lưu trữ và sử dụng nước mưa, tham khảo kinh nghiệm của các nước khác và nghiên cứu, đưa ra các giải pháp phù hợp với điều kiện Việt Nam, nhóm nghiên cứu mong muốn hợp tác với các chủ đầu tư phát triển các khu đô thị mới, chính quyền các thành phố, để những giải pháp này có thể được áp dụng vào thực tiễn, thiết thực góp phần nâng cao chất lượng cuộc sống ở các đô thị, phục vụ mục tiêu phát triển đô thị bền vững và thích ứng với biến đổi khí hậu.

Tóm lại

Như đã đề cập, hướng dẫn sử dụng nước mưa ở Việt Nam còn hạn chế và việc sử dụng nước mưa chủ yếu dựa trên kinh nghiệm truyền thống được cho là có một số hạn chế (ví dụ như ô nhiễm nước). Cần phải ban hành hướng dẫn kỹ thuật thu gom và sử dụng nước mưa như một tài liệu tham khảo tiêu chuẩn cho các bên liên quan (nhà đầu tư, người ra quyết định, chủ hộ gia đình, các công ty tài trợ và chính quyền địa phương). Trong thời gian tới, cần đưa ra các hướng dẫn, quy tắc xây dựng với các chương trình khuyến khích, ví dụ: Bộ Y tế, Bộ Xây dựng trong việc thúc đẩy và hỗ trợ thực hành thu gom nước mưa ở Việt Nam. Ngoài ra, các khuyến khích tài chính về sử dụng nước mưa cho tư nhân và các khu vực khác thông qua các công cụ tiết kiệm cũng rất cần thiết.

4.6. Giải pháp khắc phục khó khăn về tài chính

Các nguồn tài chính cho công tác quản lý nước mưa:

Cần thu hút sự tham gia của khu vực tư nhân trong công tác đầu tư và thương mại hóa thu nước mưa. Về phía các nhà khoa học, cần có các dự án trình diễn, hoạt động thực tế thử nghiệm các mô hình quản lý nước mưa cho cộng đồng, rút kinh nghiệm về mặt công nghệ, thiết bị, tìm khả năng kinh doanh, thương mại hóa với các công ty tư nhân cho các hệ thống nước mưa từ quy mô hộ gia đình đến công trình công nghiệp, thương mại, dịch vụ... Các đối tác cần có những biện pháp hỗ trợ ban đầu về mặt tài chính, công nghệ, thiết bị. Các dự án trình diễn cần được đánh giá, phân tích chi phí – lợi ích cả về mặt tài chính, kinh tế, xã hội và môi trường.

Sử dụng vật liệu và lao động tại địa phương

Các phương pháp thu gom nước mưa tùy thuộc vào từng địa điểm, do đó rất khó để đưa ra chi phí tổng quát. Nhưng trước hết, các thành phần chính của hệ thống thu gom nước mưa - nước mưa và lưu vực thu gom - có sẵn miễn phí. Một tỷ lệ đáng kể các chi phí cho các kết nối đường ống. Bằng việc điều chỉnh mái dốc và vị trí của các điểm thu nước mưa, điều này có thể làm giảm đáng kể chi phí. Trong hệ thống thu gom nước mưa, bể chứa thường là phần đắt nhất (gần 90% tổng chi phí). Vì vậy cần phải thiết kế cẩn thận để cung cấp dung lượng lưu trữ tối ưu, đồng thời vẫn giữ được chi phí thấp nhất. Chi phí cũng có thể được giảm bằng cách sử dụng vật liệu địa phương có sẵn và lao động địa phương. Mặt khác, điều này giúp cho những người dân địa phương học được những kiến thức về hệ thống, cách thức hoạt động, vận hành và bảo quản hệ thống.

Tăng khả năng chi trả bằng cách chia sẻ chi phí

Các cộng đồng có thể tăng khả năng chi trả trong việc đầu tư một hệ thống thu gom nước mưa bằng cách tham gia trách nhiệm xã hội. Việc đóng góp của một công ty dưới dạng hợp tác trách nhiệm xã hội (Cooperative Social Responsibility) hoặc tạo giá trị chia sẻ (Creating Shared Value) được đề xuất để chia sẻ chi phí ban đầu cho dự án “đôi bên cùng có lợi” (Kim và cộng sự 2016). Chi phí không chỉ được hỗ trợ từ hoạt động quyên góp của công ty mà cộng đồng cũng nên tham gia vào tất cả các khâu, bao gồm cả tài chính và lao động. Các khoản đóng góp của người thụ hưởng có thể dưới dạng tiền mặt, lao động và vật liệu. Một cộng đồng có thể không chỉ đóng góp một phần chi phí bằng cách gây quỹ, mà còn bằng hiện vật, ví dụ, bằng cách cho cát, nước hoặc gạch. Một số kỹ thuật xây dựng hệ thống nước mưa liên quan đến lượng lao động phổ thông đáng kể như di chuyển đất và lấy vật liệu địa phương. Sự sẵn sàng đóng góp công sức của cộng đồng trong trường hợp này là một đóng góp đáng kể ảnh hưởng đến chi phí của dự án. Nó cũng có tác động tích cực đến việc xây dựng quyền sở hữu cộng đồng đối với hệ thống nước mưa.

Kế hoạch quản lý nước mưa bền vững là một công cụ quan trọng để xem xét việc sử dụng nước mưa trong hiện tại và tương lai. Kế hoạch này cần tính đến việc phân tích chi phí và lợi ích, đánh giá rủi ro. Dựa trên thực tế, chính quyền địa phương có thể quyết định thu phí dựa trên tổng chi phí (bao gồm cả phí lắp đặt và bảo trì). Chính quyền địa phương cần đầu tư hỗ trợ các hộ nghèo ở miền núi, hải đảo, nông thôn và thành phố có hệ thống lọc và dự trữ nước mưa. Ngoài ra, có thể áp dụng mô hình một công ty - một cộng đồng (1C-1C) để thực hiện xây dựng

hệ thống nước mưa cho cơ sở cộng đồng. Các hộ gia đình, chủ cơ sở có chứng chỉ lắp đặt, vận hành thiết bị quản lý nước mưa sẽ được giảm thuế, tiền nước và các chi phí khác.

Mặc dù đầu tư ban đầu là cần thiết để thiết lập hệ thống nước mưa, nhưng việc tiết kiệm chi phí trả cho nước máy hoặc nước đóng chai là một lý do chính đáng để sử dụng nước mưa miễn phí. Việc đánh giá khả năng chi trả của các hệ thống nước mưa đối với các đối tượng mục tiêu sẽ làm tăng mức độ sẵn sàng chi trả chi phí của họ và chứng minh cơ hội thị trường cho doanh nghiệp địa phương, đồng thời cho phép dự án phát triển bất kỳ phương án tài trợ nào của khu vực tư nhân. Ví dụ, trong trường hợp trường mẫu giáo Cukhe, hệ thống nước mưa 12m³ đã được lắp đặt để cung cấp nước uống cho toàn bộ học sinh tại trường (Dao et al. 2017). Chi phí của hệ thống nước mưa là 4.000 USD. Trước khi lắp đặt hệ thống, nhà trường cần mua bình nước đóng chai để cung cấp nước uống. Trường có thể tiết kiệm được 11 m³ nước đóng chai bằng nước mưa mỗi tháng, tương đương 500 USD. Nói cách khác, họ có thể tiết kiệm 4.000 USD trong 16 tháng, bằng chi phí xây dựng hệ thống thu gom nước mưa.

Bảng 3.3. Phân tích chi phí hệ thống³²

Chi phí của hệ thống (12 m³)	Lượng nước sử dụng hàng tháng	Chi phí mua nước đóng chai (bình 20 L)	Tiết kiệm hàng tháng
4,000 \$	11 m ³	0.45 \$/bình	500 \$

4.7. Khía cạnh xã hội, các phương tiện truyền thông

Giáo dục

Nhà trường và giáo dục công cộng là một chiến lược tuyệt vời để nâng cao nhận thức của cộng đồng về nước mưa. Giáo dục bao gồm cả hướng dẫn và đào tạo chính thức và không chính thức. Giáo dục chính quy đề cập đến việc giảng dạy trên lớp trong các trường học và trường đại học, trong khi giáo dục không chính thức bao gồm thảo luận và hội thảo, các hoạt động về nước mưa cho người dân, các nhóm địa phương và tại các sự kiện cộng đồng. Ví dụ, xuất bản sách, làm bảo tàng nước mưa và tổ chức các hoạt động thử nước mưa cho học sinh nhỏ tuổi đã được thực hiện tốt ở nhiều nơi.

Hệ thống/mô hình trình diễn

Việc lắp đặt hệ thống nước mưa tại các cơ sở công cộng, đặc biệt là trong trường học là rất tốt. Học sinh sẽ có được nước uống an toàn và vệ sinh hợp vệ sinh hơn. Ngoài ra, hệ thống nước mưa trong trường học có thể chứng minh một mô hình trình diễn để áp dụng ở các quy mô khác, ví dụ như hộ gia đình, văn phòng. Sự tham gia của trẻ em trong việc vận hành và bảo trì hệ thống cung cấp cho các em hoạt động ngoại khóa và hình thành thói quen sử dụng và bảo trì lâu dài các hệ thống đó và phát triển sự tự tin khi sử dụng nó.

Chương trình đào tạo

Có thể nâng cao kiến thức tốt về nước mưa bằng cách đào tạo người dân địa phương tham gia vào việc lắp đặt hệ thống nước mưa. Việc cung cấp hướng dẫn kỹ thuật và sổ tay bảo trì rất

³² Dao et al. 2017

hữu ích để giáo dục người dân địa phương. Sự tham gia của người dân địa phương có thể là một công cụ hữu hiệu để nâng cao năng lực tiềm năng cũng như chuyển giao công nghệ. Điều này cũng cho phép những người quan tâm có được kiến thức làm việc tốt về hệ thống (liên quan đến thiết kế, lắp đặt, vận hành và bảo trì). Đề xuất thành lập một nhà máy sản xuất bể chứa nước mưa và trung tâm đào tạo trong cộng đồng. Trung tâm đào tạo về xây dựng và lắp đặt hệ thống sẽ nâng cao kỹ năng lắp đặt và bảo trì hệ thống mới của người dân. Ngoài ra mọi người có thể mua bồn chứa nước mưa với chi phí phải chăng từ nhà máy.

Thay đổi nhận thức

Để giảm nhận thức tiêu cực của cộng đồng về nước mưa, đề xuất làm cho hệ thống nước mưa trông hấp dẫn và đẹp mắt bằng cách trang trí đơn giản. Các hệ thống này sẽ hoạt động như một minh chứng để làm cho nước mưa được tin cậy và phổ biến trong cộng đồng địa phương. Ngoài ra, thông qua việc trao đổi giao tiếp thường xuyên, các dự án mô hình có cung cấp cho người dân địa phương các kết quả phân tích khoa học về chất lượng nước mưa nhằm nỗ lực nâng cao nhận thức tích cực của họ về nước mưa.



Hình 3.1. Ví dụ về các trang trí đơn giản, bắt mắt cho hệ thống nước mưa³³

4.8.Vai trò của chính quyền địa phương trong việc quản lí nước mưa

Trước hết, cần thay đổi quan điểm hiện nay trong chiến lược tiêu thoát nước mưa, từ chỗ chỉ giải quyết vấn đề ngập lụt bằng đắp cốt nền cao và tăng năng lực thoát nước của cống rãnh (xây cống to). Chúng ta phải kết hợp với các biện pháp chứa nước, thấm nước có tính phát triển bền vững và giá trị sinh thái cao mà các nước phát triển đã và đang áp dụng. Đó là hãy xem nước mưa như tài nguyên vô cùng quý giá và hữu hạn, dù rằng nước mưa là nguyên nhân của

³³ Ảnh từ các hoạt động dự án thu nước mưa giữa ĐHXDHN và SNU, Hàn Quốc, 2017-2020

tình trạng ngập đô thị rất bức xúc như hiện nay. Do vậy, không nên chỉ có giải pháp thoát nhanh nước mưa để rồi mất đi một tài nguyên được thiên nhiên ban tặng. Ngược lại, cần ứng dụng giải pháp kỹ thuật thích hợp làm chậm quá trình thoát nước mưa trước khi chúng trở lại với sông – biển để chúng kịp thực hiện các chức năng đối với sự sống muôn loài và là sạch môi trường. Cần tiến hành các chiến dịch truyền thông để giải thích cho người dân và doanh nghiệp biết những gì họ phải thực hiện. Chiến dịch có thể đề cập những chủ đề sau:

- Trữ nước mưa tại chỗ ở các công trình nhà cửa tư nhân và lượng nước này sau đó có thể được xả về hệ thống thoát nước, có thể tự thấm vào lòng đất hoặc được sử dụng lại cho những mục đích khác như tưới cây và dội nhà vệ sinh. Cần xây dựng một sổ tay hướng dẫn vận hành và bảo dưỡng để giải thích cho người sử dụng cách vận hành và bảo dưỡng hệ thống để có thể thu được những kết quả tối ưu;
- Xây dựng các mái nhà xanh lá và xanh dương để làm chậm lưu lượng nước;

Giảm diện tích bề mặt phủ cứng trong các khu vườn và thay thế bằng các vật liệu tự nhiên như đất, cỏ và / hoặc sỏi. Qua đó nước mưa có thể tự thấm vào lòng đất. Giải pháp khác có thể là xây dựng bề mặt phủ hờ / thoát nước. Chương trình tuyên truyền nên làm cho người dân nhận thức được rằng thích ứng với biến đổi khí hậu không chỉ là nhiệm vụ của Nhà nước mà còn là trách nhiệm của người dân và doanh nghiệp.

4.9.Chuyển đổi số và ứng dụng trong quản lý, sử dụng nước mưa

4.9.1. Quan trắc, giám sát hệ thống thu nước mưa

Quan trắc nước mưa nhằm mục đích đảm bảo lưu lượng và chất lượng nước mưa sử dụng. Quan trắc nước mưa bao gồm quan trắc, theo dõi lượng nước mưa thu gom, sử dụng và quan trắc, phân tích chất lượng nước mưa định kỳ.

Giám sát theo dõi hệ thống nước mưa nhằm mục đích bảo vệ hệ thống và các thiết bị, đảm bảo phát hiện kịp thời các hỏng hóc, cũng như các thay đổi bất thường về lưu lượng và chất lượng nước mưa, đặc biệt đối với các hệ thống nước mưa nằm cách xa đơn vị quản lý.

Quan trắc lượng nước mưa thu gom và lượng nước mưa tiêu thụ: Sử dụng các loại vũ kế để đo mưa thủ công hoặc tự động để đo cường độ mưa của các trận mưa. Các bể chứa cần được lắp đặt các thước đo mực nước thủ công, hoặc các sensor, phao đo mực nước để theo dõi mực nước trong bể, từ đó có kế hoạch sử dụng phù hợp với lượng nước còn lại trong bể và các trận mưa dự báo sắp tới. Đồng hồ đo lượng nước sử dụng được lắp đặt trên đường ống nhằm ghi lại lượng nước mưa sử dụng cho các mục đích khác nhau, từ đó giúp nhận định được các nhu cầu dùng nước nhiều và ít, từ đó có sự điều chỉnh hành vi dùng nước một cách tiết kiệm và có kiểm soát hơn.

Quan trắc chất lượng nước mưa nhằm mục đích xem xét chất lượng nước mưa có đảm bảo sử dụng cho các mục đích hay không. Công việc này bao gồm các công đoạn lấy mẫu nước mưa, phân tích đo tại hiện trường bằng máy đo cầm tay và gửi đi phân tích tại các phòng thí nghiệm. Ứng với các mục đích sử dụng khác nhau, các quy định yêu cầu về chất lượng cũng có sự thay đổi về số lượng chỉ tiêu và tần suất lấy mẫu, phân tích đánh giá. Đối với các hệ thống nước mưa sử dụng cho mục đích ăn uống, các chỉ tiêu cần giám sát theo quy định của quy chuẩn về chất lượng nước ăn uống. Thông thường các thành phần chất vô cơ và hữu cơ trong

nước mưa rất thấp, đặc biệt khi đã sử dụng các hệ thống xả bỏ nước mưa đợt đầu. Mọi quan tâm chính về chất lượng nước mưa cho mục đích ăn uống chính là các chỉ tiêu vi sinh như coliform tổng số, E.Coli, Vi khuẩn mủ xanh..., các chỉ tiêu này cần được phân tích cẩn thận trong phòng thí nghiệm có đủ năng lực. Bên cạnh đó, người quản lý hệ thống nước mưa có thể sử dụng các thiết bị đo cầm tay để xác định các thông số pH, TDS, EC, để đánh giá nhanh chất lượng nước mưa tại chỗ.

Các hệ thống nước mưa có thể được lắp đặt các hệ thống camera giám sát (CCTV) để theo dõi quản lý tổng thể toàn bộ hệ thống, các hoạt động của hệ thống được ghi lại và truyền về trung tâm quản lý. Giám sát chất lượng nước mưa và lưu lượng sử dụng bằng việc lắp đặt hệ thống quan trắc tự động có bộ ghi và truyền dữ liệu về máy tính tại trung tâm quản lý. Các hệ thống quan trắc tự động có thể theo dõi nhanh các chỉ tiêu pH, TDS, độ đục, lượng nước sử dụng... các diễn biến thay đổi chất lượng, lưu lượng sử dụng sẽ được nhận biết để có biện pháp điều chỉnh, phát hiện các sai sót, sự cố hay hỏng hóc của các thiết bị để kịp thời khắc phục.

Các hạng mục giám sát

(1) Mục nước trong bể

Có nhiều cách để theo dõi mực nước trong bể chứa. Với bể chứa lớn, quy mô công nghiệp, có thể sử dụng các đầu dò laser hay sóng siêu âm. Ở quy mô hộ gia đình, có thể gắn một đoạn ống hồ, trong suốt, có thước đo mực nước bên thành bể, đáy có ống thông với trong bể. Theo nguyên tắc bình thông nhau, mực nước quan sát được trong ống chính là mực nước trong bể. Ống trong suốt ngoài bể có thể được bọc kín, chỉ lộ ra khi giám sát mực nước, để ngăn rêu phát triển và ánh nắng mặt trời làm nhựa nhanh bị lão hóa. Cũng có thể đưa một ống mềm vào trong bể, với một quả bóng gắn vào đầu một sợi dây. Mực nước trong bể lên xuống sẽ đưa quả bóng nổi theo, kéo theo sợi dây. Với giải pháp đo mực nước đơn giản, người dùng biết khi nào cần điều chỉnh nhu cầu của mình để tiết kiệm nước, nhất là sau mùa mưa.

(2) Lượng nước sử dụng

Để giám sát việc sử dụng nước, một đồng hồ đo nước đơn giản có thể được lắp đặt trong đường ống đầu ra sau bể chứa hay trước vòi lấy nước. Trong các hệ thống nước mưa lớn, có thể lắp đồng hồ thông minh, truyền dữ liệu về lượng nước sử dụng và các thông số giám sát khác như mực nước, chất lượng nước về trung tâm. Bằng cách giám sát chất lượng nước và lượng nước sử dụng, người sử dụng sẽ chủ động quản lý nước tốt, tránh tình trạng thiếu nước trong mùa khô và giảm số ngày không có nước.

(3) Dữ liệu mưa

Việc thu thập dữ liệu mưa rất cần thiết để lập mô hình tính toán thiết kế hệ thống nước mưa, có ảnh hưởng trực tiếp đến kích thước của bể chứa nước mưa, chi phí - lợi ích và xác lập chế độ vận hành của hệ thống. Trường hợp thiếu dữ liệu mưa, có thể sử dụng máy đo mưa đơn giản. Dữ liệu lượng mưa thu được có thể được sử dụng cho các dự án nước mưa khác của cộng đồng trong tương lai.

Ngoài ra cần tăng cường quan trắc mưa (chất lượng và số lượng). Mạng lưới quan trắc dữ liệu mưa cần được xây dựng thống nhất, đồng bộ. Các đặc trưng mưa cần được chuẩn hóa cho

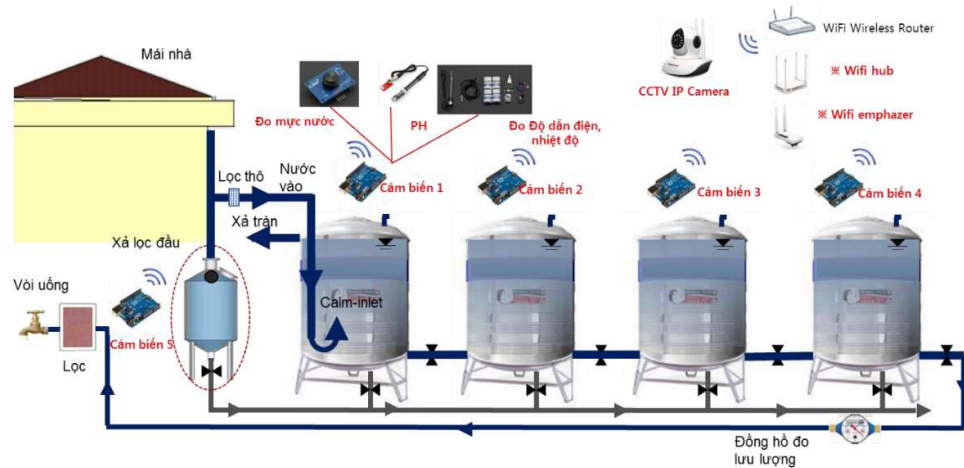
từng vùng, từng địa phương và có cập nhật theo từng giai đoạn. Đó là cơ sở cho việc xác định quy mô, thiết kế và vận hành hệ thống thu nước mưa hiệu quả.

4.9.2. Ứng dụng công nghệ thông tin trong thu gom, sử dụng nước mưa

Internet vạn vật - IoT (Internet of Things) có thể đóng một vai trò quan trọng trong quản lý nước mưa bằng cách cung cấp dữ liệu thời gian thực và tự động hóa để cải thiện hiệu suất và tính bền vững của hệ thống thu thập, lưu trữ và phân phối nước. Dưới đây là một số ứng dụng của IoT trong quản lý nước mưa.

Giám sát chất lượng nước:

Các cảm biến IoT có thể theo dõi liên tục chất lượng nước mưa đã thu thập và lưu trữ. Nếu phát hiện bất kỳ chất độc hại hoặc tạp chất nào, các hệ thống tự động có thể điều hướng hoặc xử lý nước mưa theo cách thích hợp.



Hình 3.2. Ứng dụng IoT cảm biến đo chất lượng nước và mực nước trong hệ thống nước mưa

Giám sát tự động lượng mưa và chất lượng nước mưa

Các cảm biến IoT có thể được triển khai ở nhiều vị trí để giám sát lượng mưa trong thời gian thực (hình vẽ). Dữ liệu này có thể được sử dụng để dự đoán mô hình thời tiết và giúp các cơ quan quản lý nước đưa ra quyết định thông minh về mức nước trong bể chứa và sử dụng hoặc bơm xả hợp lý.

Hệ thống giám sát mưa, cảnh báo ngập lụt đô thị

Các cảm biến IoT đặt tại các khu vực khác nhau trong thành phố, đặc biệt là ở những nơi có nguy cơ ngập lụt cao, có thể giám sát mức nước và gửi cảnh báo cho các cơ quan địa phương và cư dân khi có mưa. Điều này có thể giúp giảm thiểu thiệt hại do ngập lụt và đảm bảo an toàn công chúng.

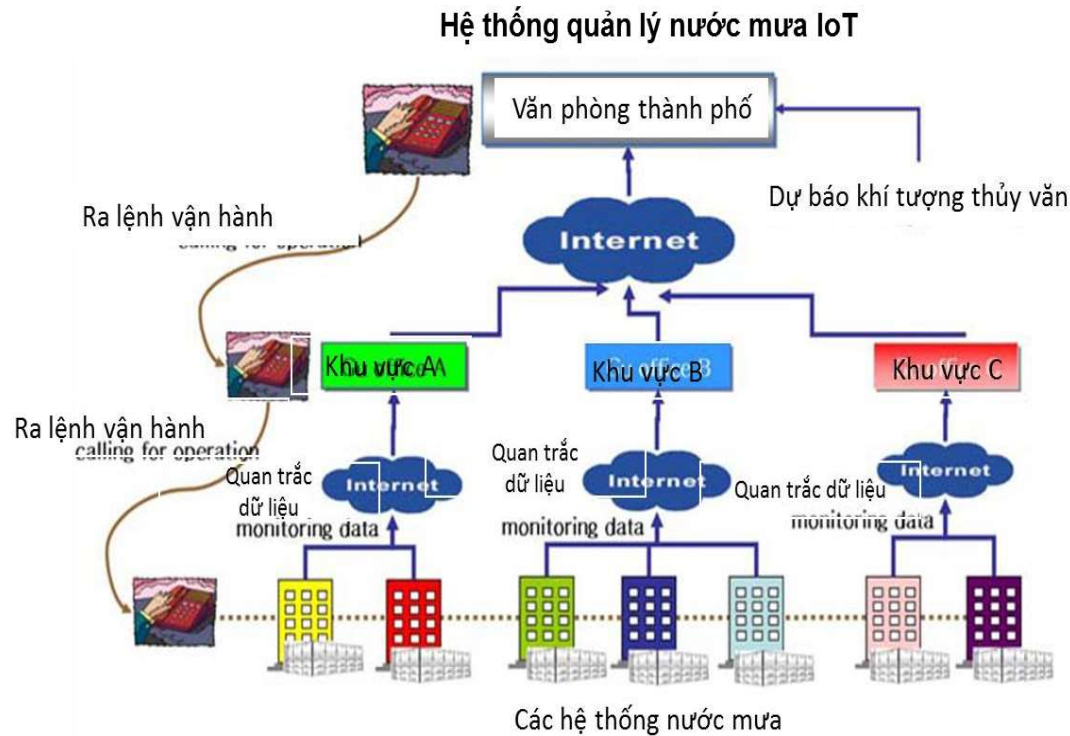
Hệ thống giám sát mưa, cảnh báo ngập lụt, tích hợp với vận hành bể nước mưa để giảm ngập lụt

Ví dụ ở thành phố Seoul, Hàn quốc đã áp dụng mô hình hệ thống giám sát và cảnh báo ứng ngập thông minh bằng cách dữ liệu sẽ được thu thập từ mỗi văn phòng hoặc quận. Tùy thuộc vào lượng mưa dự kiến, cơ quan phòng chống thiên tai có thể gửi thông báo yêu cầu chủ tòa nhà xả hết hoặc một phần bể chứa nước mưa của họ. Một chương trình khuyến khích được

lên kế hoạch để khen thưởng những người tuân thủ yêu cầu, và xử phạt những người không tuân theo.

Sau trận mưa, nước dự trữ được có thể được sử dụng cho mục đích chữa cháy và các mục đích khác, chẳng hạn như xả nhà vệ sinh và tưới cây.

Trường hợp hộ gia đình đã xả theo yêu cầu nhưng lượng mưa thực tế không đủ, chính quyền thành phố sẽ bù đắp lượng nước thiếu hụt bằng nước sạch hoặc bằng các công cụ tài chính khác.



Hình 3.5. Hệ thống quản lý vận hành bể chứa nước mưa tích hợp với giám sát lượng mưa và cảnh báo ngập lụt

Giải pháp tích hợp quản lý nước mưa trong quản lý đô thị

Ứng dụng di động và tương tác người dùng

Ứng dụng di động có thể cho phép chủ nhà và doanh nghiệp giám sát hệ thống thu thập nước mưa của họ và nhận được các gợi ý để sử dụng hiệu quả. Điều này có thể thúc đẩy việc áp dụng thu nước mưa và quản lý hiệu quả hệ thống.

Tích hợp với các dự án Thành phố thông minh

Trong các dự án thành phố thông minh, IoT có thể được tích hợp vào kế hoạch đô thị rộng lớn để đảm bảo quản lý nước mưa hiệu quả, bảo tồn và sử dụng bền vững trong không gian công cộng.

Ứng dụng Công nghệ thông tin và Công nghệ 4.0 có thể giúp nâng cao khả năng dự đoán, quản lý và ứng phó với tình huống thoát nước trong các thành phố và khu vực đô thị. Điều này không chỉ giúp giảm thiểu tác động của mưa bền vững mà còn tạo ra môi trường sống bền vững hơn cho cộng đồng.

Khi khan hiếm nước ngày càng trở thành một vấn đề nổi cộm trên toàn thế giới, cần có sự can thiệp của công nghệ để tìm ra giải pháp cho tình trạng thiếu nước hiện tại và tương lai. Một số nhóm nghiên cứu đề xuất ý tưởng nhằm hiện đại hóa việc thu gom nước mưa thông qua các phần cứng và phần mềm khác nhau được điều khiển bằng giao diện thân thiện với người dùng. Thiết lập chung bao gồm bể chứa, van, cảm biến và máy bơm, sử dụng Internet of Things (IoT) và dịch vụ đám mây (cloud). Nước mưa được cảm biến ghi nhận, thu gom và lọc trước khi đến bể chứa. Mức nước trong bể chứa được đo liên tục. Dữ liệu từ tất cả các cảm biến được cập nhật đồng thời lên ứng dụng Thingspeak. Nước từ bể chứa lớn sau đó được bơm đến bể chứa hay két nước trong nhà dựa trên dữ liệu cảm biến và yêu cầu của người dùng. Với sự trợ giúp của ứng dụng di động, lượng nước này có thể được bơm đến một khu vực cụ thể để sử dụng. Hệ thống giúp phân phối thuận lợi nước mưa thu được đến các điểm cụ thể dựa trên sự lựa chọn của người sử dụng và tiết kiệm việc sử dụng nước³⁴.

Tại Ấn Độ, theo thời gian, tình trạng khan hiếm nước và cạn kiệt nguồn nước ngầm đã trở thành mối lo ngại ngày càng tăng. Điều này là do hậu quả nghiêm trọng của biến đổi khí hậu, đô thị hóa, công nghiệp hóa, tăng trưởng dân số và nhu cầu về nước. Theo đánh giá của Ủy ban Nước ngầm Trung ương (CGWB), Ấn Độ đã khai thác quá mức nước ngầm, nhiều vùng trong nước bắt đầu giảm mực nước ngầm. Do đó, để giải quyết tình trạng không thể tránh khỏi này và tránh tình trạng khai thác quá mức nước ngầm, việc sử dụng các nguồn nước thay thế khác như nước mưa sẽ giúp giảm tải ở một mức độ nào đó. Nghiên cứu hướng tới mục đích thu nước mưa bằng hệ thống thông minh, dựa trên IoT. Mô hình được đề xuất bao gồm tập hợp các cảm biến khác nhau, giám sát được lượng nước thay đổi trong bể chứa. Hệ thống thu nước mưa thông minh đáp ứng được phần nào nhu cầu nước trong công trình, trong canh tác nông nghiệp ở các trang trại. Nghiên cứu khuyến nghị rằng để hoàn toàn tự động, hệ thống có thể được trang bị mô-đun GSM, mô-đun Wi-Fi và ứng dụng Android³⁵.

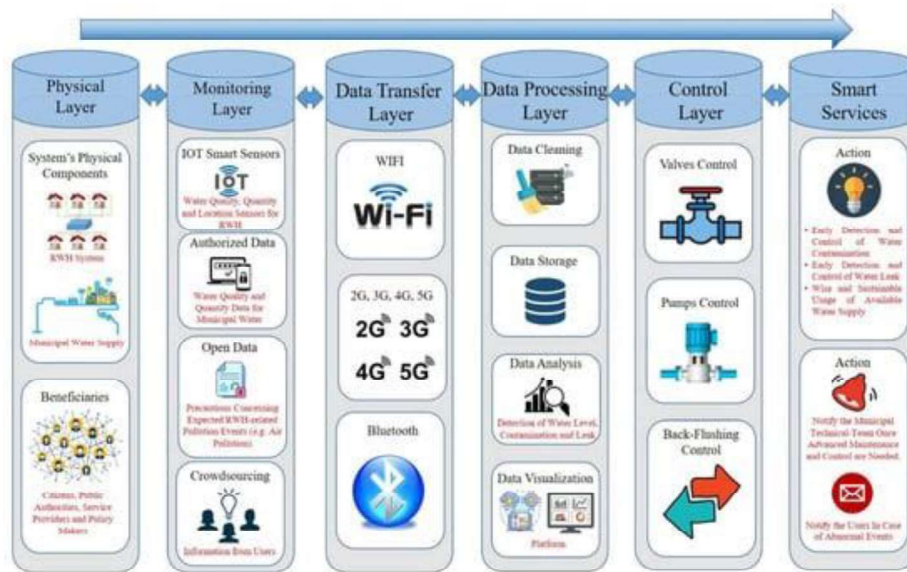
Cảm biến chi phí thấp cùng với các công nghệ truyền dữ liệu tiên tiến, cho phép tích hợp các giải pháp thông minh để phân cấp cơ sở hạ tầng nước, có thể được áp dụng. Nhóm nghiên cứu Thụy Sĩ đề xuất mô hình bể nước mưa thông minh (SRB), như một giải pháp tiên tiến dựa trên IoT để thu nước mưa. SRB bao gồm một bể nước mưa, một van xả, được điều khiển tập trung. Mô hình này cung cấp (1) khả năng kiểm soát riêng lẻ đối với từng SRB được triển khai cùng với việc tích hợp nó vào quản lý hệ thống nước tổng hợp và (2) triển khai đơn giản trên quy mô lớn các đơn vị bể trữ nước bổ sung, như một giải pháp thay thế cho việc mở rộng cơ sở hạ tầng trong tương lai. Phần mềm nguồn mở “Smartin” được phát triển bằng cách giả định trang bị thêm SRB cho một đô thị vùng Alpine để đánh giá tác động của SRB đối với cơ sở hạ tầng nước đô thị. So với các bể chứa nước mưa không được kiểm soát, chiến lược kiểm soát

³⁴ A. Gomes, A. Shetty, C. Wilson and V. Sravani, "Internet of Things based Rainwater Harvesting and Distribution Management System through Mobile Application," *2023 International Conference for Advancement in Technology (ICONAT)*, Goa, India, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICONAT57137.2023.10080094.

³⁵ Singh, B.K., Tripura, J. IoT-based smart alternative approach to harvesting rainwater in an urban context. *Sustain. Water Resour. Manag.* **8**, 110 (2022). <https://doi.org/10.1007/s40899-022-00703-3>.

phối hợp đơn giản đã cải thiện rõ ràng hiệu suất của hệ thống tích hợp bằng cách giảm tình trạng tràn cống kết hợp và giải quyết nhu cầu nước ăn uống³⁶.

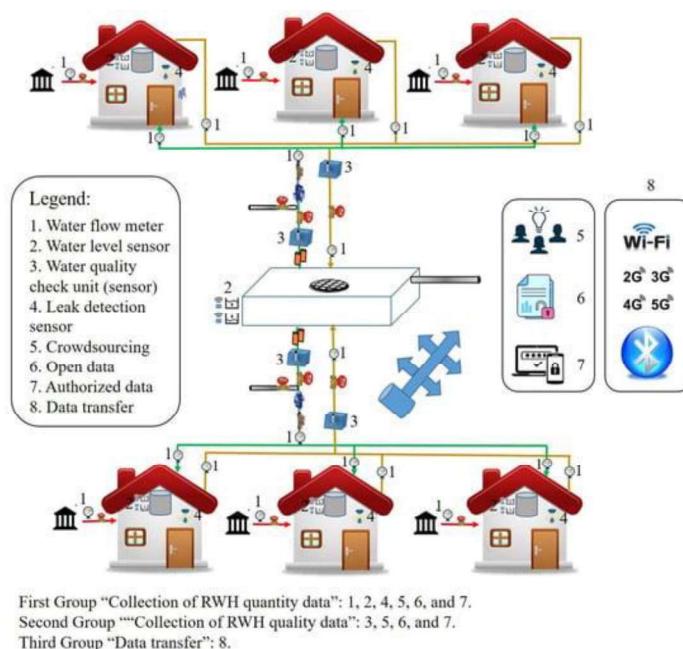
Nhóm nghiên cứu Pháp và Syria giới thiệu hệ thống cấp nước kép/RWH thông minh nhằm giải quyết tình trạng thiếu nước uống ở các khu vực khan hiếm nước, ví dụ như vùng Trung Đông. Nhóm đánh giá những thách thức tiềm ẩn của hệ thống RWH trên mái thông thường, sau đó đề xuất cấu trúc hệ thống RWH thông minh để đối phó với những thách thức đó (Hình vẽ). Hệ thống thông minh được giới thiệu dựa trên việc thu thập và sử dụng RWH dùng chung. Một mô phỏng dựa trên Python đã thực hiện để đánh giá độ tin cậy của hệ thống RWH thông minh. Kết quả cho thấy sự cần thiết của việc kiểm tra và can thiệp dựa trên nguồn lực cộng đồng và dựa trên tự động hóa trong hệ thống thông minh để kiểm soát độ đục, coliform chịu nhiệt và clo dư trong nước mưa được thu gom ở Jenin. Hệ thống RWH thông minh cho thấy khả năng đáp ứng 41% nhu cầu nước sinh hoạt của người dân.



Hình 3.6. Cấu trúc hệ thống thu nước mưa thông minh³⁷

³⁶ Martin Oberascher, Carolina Kinzel, Ulrich Kastlunger, Manfred Kleidorfer, Christoph Zingerle, Wolfgang Rauch, Robert Sitzenfrie, Integrated urban water management with micro storages developed as an IoT-based solution – The smart rain barrel, *Environmental Modelling & Software*, Volume 139, 2021, 105028, ISSN 1364-8152, <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105028>.

³⁷ Judeh, Tariq, Isam Shahrou, and Fadi Comair. 2022. "Smart Rainwater Harvesting for Sustainable Potable Water Supply in Arid and Semi-Arid Areas" *Sustainability* 14, no. 15: 9271. <https://doi.org/10.3390/su14159271>.



Hình 3.7. Các thành phần giám sát của hệ thống thu gom nước mưa thông minh dựa trên IoT³⁸

Kết quả cho thấy hiệu quả và độ tin cậy của hệ thống nước kép trong việc giải quyết nhu cầu về nước với hệ thống RWH thông minh. Việc quản lý năng động của hệ thống (bao gồm cả việc lưu trữ) mang lại độ tin cậy tốt nhất, cho phép sử dụng kích thước bể chứa nhỏ hơn. Điều này có thể có tác động tích cực đáng kể đến sự phát triển kinh tế - xã hội của thành phố. Kết quả cũng cho thấy sự cần thiết phải sắp xếp lại chương trình cấp nước hiện tại của thành phố. Bằng cách áp dụng phương pháp quản lý năng động và chương trình cung cấp mới, hệ thống kép thông minh đã cho thấy khả năng đáp ứng nhu cầu nước ở mọi độ cao trong khu vực nghiên cứu.

Nghiên cứu trong tương lai có thể cải thiện được bằng cách nhắm mục tiêu (i) phân tích chi phí-lợi ích cho hệ thống RWH thông minh và (ii) điều tra sự chấp nhận của xã hội đối với việc áp dụng hệ thống đề xuất.

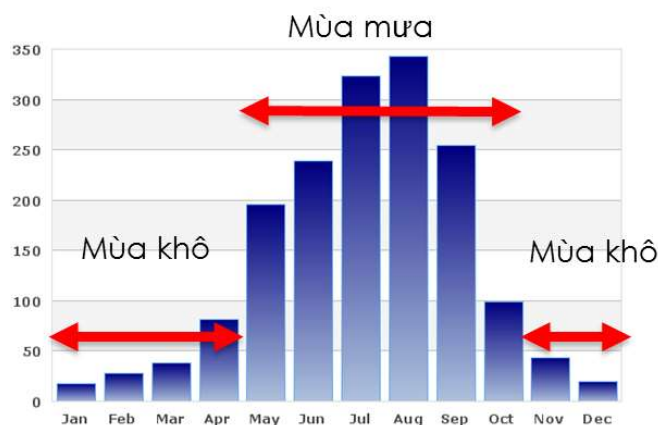
4.10. Mô hình mô phỏng hệ thống nước mưa đa mục tiêu

4.10.1. Hệ thống cấp nước kép

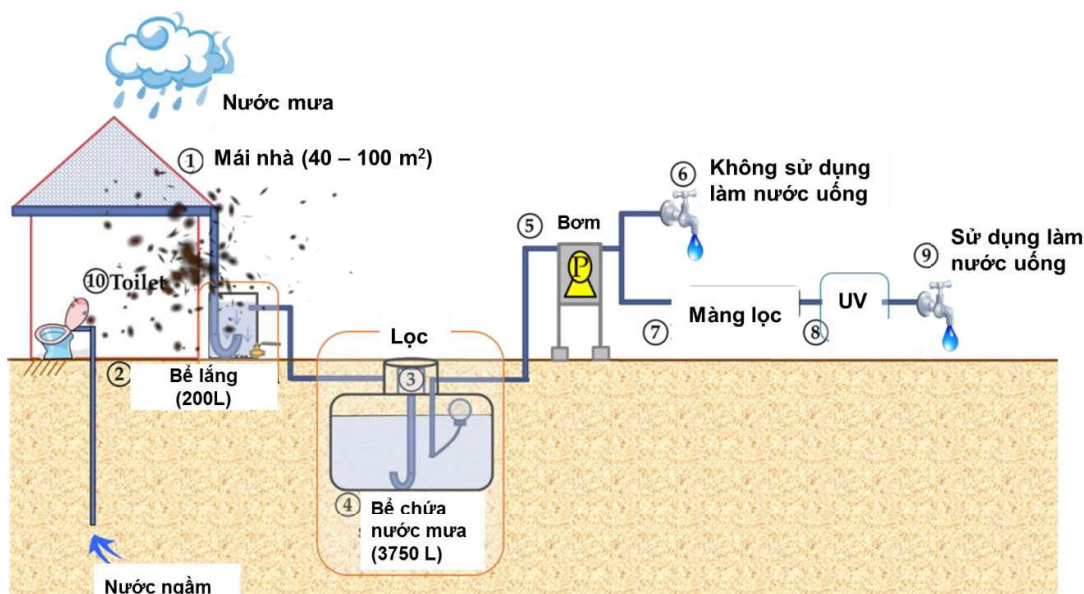
Trong khu vực sử dụng nước ngầm nhưng bị ô nhiễm như kim loại nặng hoặc nhiễm mặn. Nước mưa có thể là nguồn nước thay thế nhưng không thể cung cấp cho mọi nhu cầu về nước. Do lượng mưa theo mùa thường gây thiếu nước vào mùa khô, hệ thống cấp nước kép có thể được phát triển để có thể tự cung cấp 100% nhu cầu dùng nước (Nguyen & Han 2014). Do nước mưa có chất lượng nước tốt, do đó nước mưa có thể xử lý trở thành nguồn nước uống tốt

³⁸ Judeh, Tariq, Isam Shahrou, and Fadi Comair. 2022. "Smart Rainwater Harvesting for Sustainable Potable Water Supply in Arid and Semi-Arid Areas" *Sustainability* 14, no. 15: 9271. <https://doi.org/10.3390/su14159271>.

nhất với chi phí thấp nhất. Sự không chắc chắn về lượng nước mưa có thể được giải quyết bằng cách sử dụng nước ngầm bị ô nhiễm cho các mục đích không ăn uống làm nước bổ sung mà không cần xử lý phức tạp và tốn kém. Khuyến nghị đối với quy mô hộ gia đình ở Việt Nam, chỉ nên cung cấp nước mưa cho mục đích sinh hoạt trong tháng 1 - 4 và 10 - 12 nhưng nên cung cấp cho tất cả các mục đích vào tháng 5 - 9. Trong khi nước ngầm nên được cung cấp cho các mục đích phi sinh hoạt như một nguồn cung cấp nước bổ sung vào tháng 1 - 4 và 10 - 12.



Hình 3.8. Biểu đồ mưa gió mùa biến thiên lớn gây hiện tượng thiếu nước trong mùa khô



Hình 3.9. Ví dụ về hệ thống cấp nước kép tại khu vực nước ngầm bị ô nhiễm: nguồn nước mưa cho ăn uống, nước ngầm cho dội nhà vệ sinh

4.10.2. Các mô hình thủy lực mô phỏng bể thu gom nước mưa đa năng: R-D; R-S-D; R-S-P-D; R-S-U-D; R-S-I-D; R-S-U-I-D

Các hệ thống thoát nước hiện có được xây dựng ở hầu hết các thành phố trên thế giới được thiết kế để thoát nước mưa nhanh nhất có thể nhằm mục đích duy nhất là giảm thiểu lũ lụt tại địa điểm (Mô hình lượng mưa-xả thải). Trong hệ thống này, công suất cống thoát được thiết kế để vận chuyển lượng nước mưa được tính toán trong một khoảng thời gian thiết kế nhất

định, được xác định tùy theo tầm quan trọng của khu vực và ngân sách hiện có để xây dựng nó.

Một trong những vấn đề lớn về nước đô thị trên thế giới là lũ lụt đô thị, xảy ra khi lưu lượng nước mưa xả ra lớn hơn khả năng chảy của cống thoát. Điều này có thể xảy ra do (1) thay đổi đặc tính bề mặt dẫn đến tăng hệ số dòng chảy (tăng C); (2) lượng mưa lớn hơn lượng mưa thiết kế do biến đổi khí hậu (tăng i); hoặc (3) cả hai. Điều này có thể được giải thích về mặt khái niệm bằng công thức Rational được chấp nhận theo truyền thống ($Q = CiA$). Mở rộng khả năng thoát nước ở các thành phố đã phát triển hiện tại là không dễ dàng vì quá tốn kém và mất thời gian. Theo khái niệm thủy văn truyền thống, việc kiểm soát xả thải từ nguồn hiếm khi được xem xét hoặc thực hiện.

Ngoài ra, môi trường nước đô thị của chúng ta đang bị thiếu nước, thiếu các phương án cấp nước trong trường hợp khẩn cấp và cạn kiệt nước ngầm. Hiểu rằng nước mưa thu được từ bể chứa trên mái nhà là đủ sạch, nước này có thể được sử dụng cho nhiều mục đích bao gồm mục đích không dùng để uống hoặc uống mà cần xử lý ít hoặc không cần xử lý gì cả. Nó cũng có thể được sử dụng để cung cấp nước trong trường hợp khẩn cấp và bổ sung nước ngầm bằng cách thấm nước mưa.

Bằng cách bổ sung các biện pháp có thể kiểm soát giữa mái nhà và hệ thống thoát nước, chẳng hạn như lưu trữ, bơm sử dụng, bơm xả và thấm, hoặc kết hợp các biện pháp này, hệ thống thoát nước có thể được thực hiện hiệu quả và linh hoạt hơn. Sự phát triển dần dần của các mô hình thủy lực mô phỏng bể thu gom nước mưa đa năng được thể hiện dưới dạng sơ đồ trong Hình 5. Nhiều lợi ích cho mỗi mô hình được thể hiện trong sơ đồ để giảm thiểu lũ lụt, tiết kiệm nước, lưu trữ khẩn cấp và bổ sung nước ngầm.

Mô hình R-D (Rainfall-Discharge): Mô hình này hoàn toàn giống với cách xả nước mưa truyền thống vào cống. Mục đích duy nhất là thoát nước mưa về cống để chống ngập úng tại công trình, không nhất thiết phải xét đến tình trạng ngập úng ở hạ lưu cống.

Mô hình R-S-D (Mưa-Lưu trữ-Xả): Mô hình này bao gồm một bể chứa nước mưa ở giữa mái nhà và hệ thống thoát nước. Bằng cách cung cấp một bể chứa nước mưa, lũ lụt có thể được giảm thiểu. Và một phần nước mưa có thể được tích trữ tùy theo mức độ của van xả để sử dụng trong trường hợp khẩn cấp.

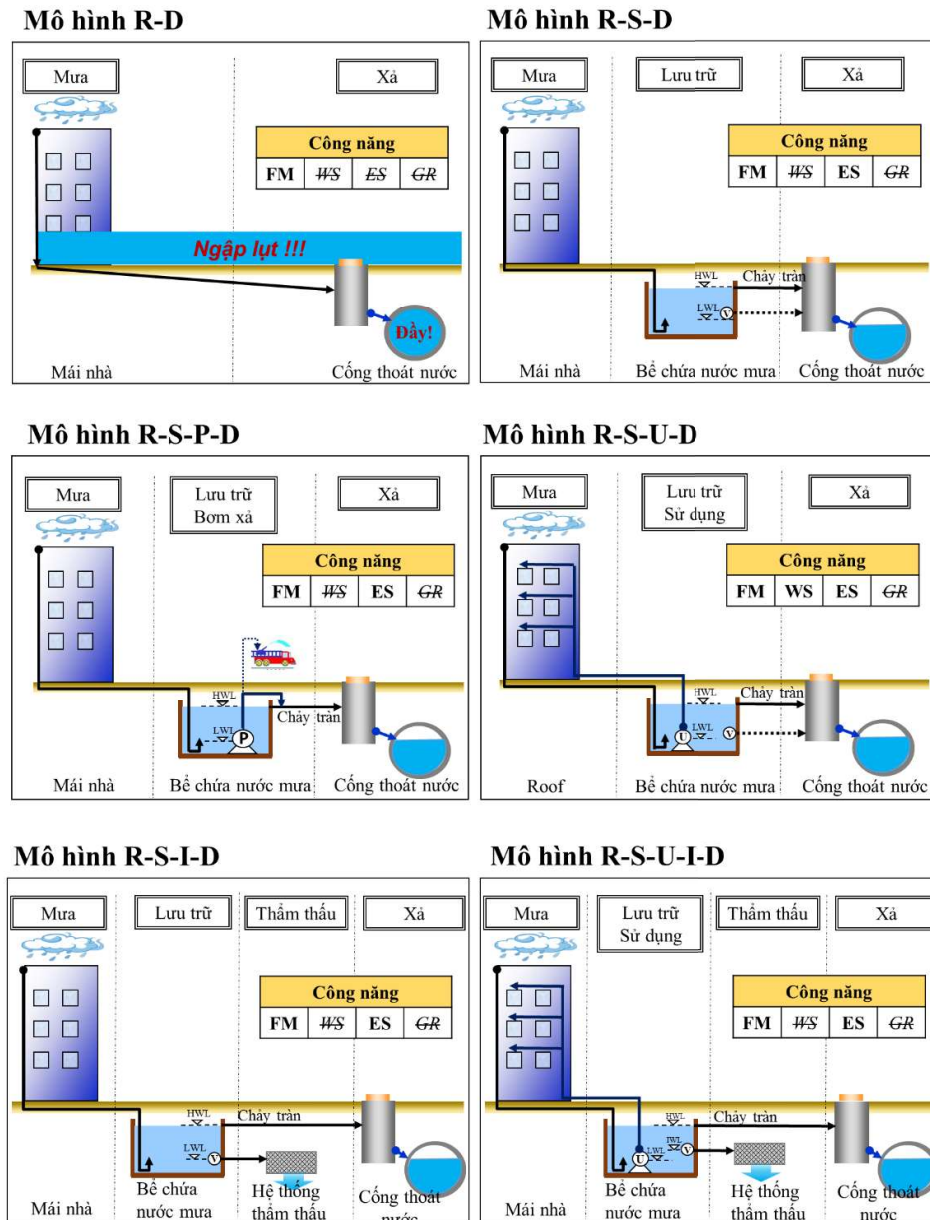
Mô hình R-S-P-D (Mưa-Lưu trữ-Bơm-Xả): Mô hình này bao gồm một máy bơm xả cho Mô hình RSD. Trong trường hợp bể chứa đầy do các trận mưa trước đó và sau đó, khi dự kiến có một trận mưa lớn, hệ thống có thể hoạt động tốt hơn bằng cách hút cạn bể chứa trước bằng cách sử dụng một máy bơm đủ lớn để làm cạn bể chứa trong vài giờ. Và bể cũng có thể được làm trống để sẵn sàng giảm thiểu lũ lụt bằng cách cung cấp nước để chữa cháy hoặc làm sạch đường.

Mô hình R-S-U-D (Lượng mưa-Lưu trữ-Sử dụng-Xả): Mô hình này bao gồm một máy bơm sử dụng cho Mô hình RSD. Bằng cách sử dụng nước trong bể để cung cấp nước sinh hoạt, bể có thể được làm trống từ từ và sẵn sàng để giảm thiểu lũ lụt. Một phần nước mưa có thể được lưu trữ cho trường hợp khẩn cấp bằng cách đặt mực nước thấp khi vận hành máy bơm.

Mô hình R-S-I-D (Lượng mưa-Lưu trữ-Xâm nhập-Xả): Mô hình này bao gồm một cơ sở xâm nhập vào Mô hình RSD. Thể tích trên của bể chứa nước mưa có thể được làm trống từ từ

bằng cách thấm nước mưa vào mặt đất gần đó. Nó có thể được sử dụng cho cả giảm thiểu lũ lụt và bổ sung nước ngầm. Nước dưới mực nước thấm có thể được sử dụng cho nước khẩn cấp.

Mô hình R-S-U-I-D (Lượng mưa-Lưu trữ-Sử dụng-Xâm nhập-Xả): Mô hình này bao gồm cả máy bơm sử dụng và thiết bị thấm vào Mô hình RSD. Nó có thể được sử dụng cho nhiều mục đích giảm thiểu lũ lụt, cung cấp nước, lưu trữ khẩn cấp và bổ sung nước ngầm.



Hình 3.14. Các mô hình quản lý nước mưa

R (Lượng mưa), D (Xả), S (Lưu trữ), P (Bơm xả), U (Bơm sử dụng), I (Thấm); FM (Giảm thiểu lũ lụt), WS (Nước tiết kiệm), ES (Lưu trữ khẩn cấp) và GR (Bổ cấp nước ngầm)

(Han M. và Nguyen D. C., 2018)

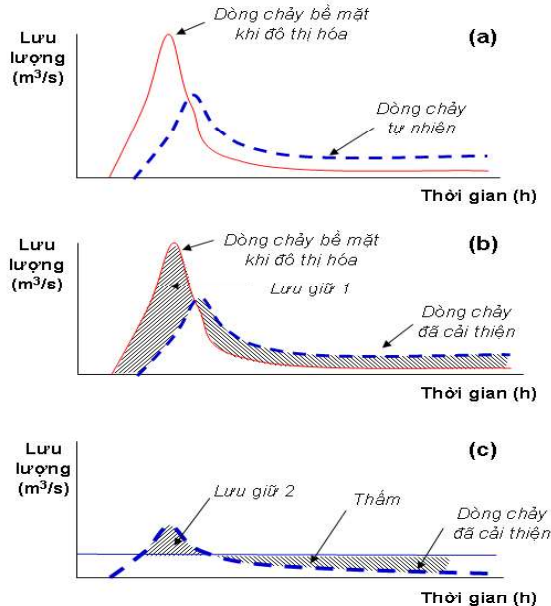
CHƯƠNG 4. THOÁT NƯỚC ĐÔ THỊ BỀN VỮNG

4.1. Thoát nước đô thị bền vững

4.1.1. Phương thức tiếp cận

Quá trình đô thị hoá đã gây những tác động xấu đến quá trình thoát nước tự nhiên: dòng chảy tự nhiên bị thay đổi, quá trình lưu giữ dòng chảy bề mặt một cách tự nhiên bằng các thảm thực vật và đất bị mất đi, và thay vào đó là những bề mặt phủ không thấm nước như mái nhà, bê tông, đường nhựa, làm tăng lưu lượng dòng chảy bề mặt (Hình 4.1). Những dòng chảy này lại thường bị ô nhiễm do rác, bùn đất và các chất bẩn khác rửa trôi từ mặt đường. Lượng nước chảy tràn bề mặt và cường độ dòng chảy tăng tạo nên sự xói mòn và lắng bùn cặn. Tất cả những yếu tố này gây ra những tác động xấu đến môi trường, gây úng ngập, ô nhiễm nguồn nước, ảnh hưởng đến hệ sinh thái dưới nước.

Các hệ thống thoát nước truyền thống thường được thiết kế để vận chuyển nước mưa ra khỏi nơi phát sinh càng nhanh càng tốt. Trong các hệ thống này, chi phí cho xây dựng và vận hành, bảo dưỡng các đường cống thoát nước thường rất lớn, trong khi công suất của chúng lại chỉ có giới hạn và không dễ nâng cấp. Cách làm này dẫn đến nguy cơ ngập lụt, xói mòn đất và ô nhiễm ở vùng hạ lưu tăng. Trên thực tế, thường rất khó xử lý được nước mưa ở cuối đường ống, bởi sự thay đổi nhanh chóng của lưu lượng cũng như nồng độ chất bẩn. Việc dẫn đi xa và thải dòng chảy bề mặt còn làm mất khả năng bổ cập tại chỗ cho các tầng chứa nước ngầm quý giá.



Hình 4.1. Nguyên tắc thoát nước bề mặt bền vững

(Nguyễn Việt Anh, 2009)

a/ Dòng chảy tập trung do bề mặt phủ đô thị bị thay đổi; b/ Trở về dòng chảy tự nhiên ban đầu nhờ các giải pháp làm chậm dòng chảy bề mặt; c/ Giảm lưu lượng nước cần thoát nhờ các giải pháp làm chậm dòng chảy và thấm.

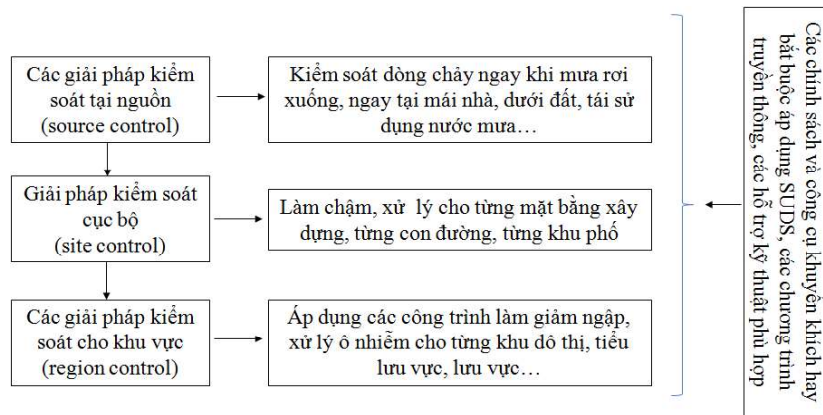
Phát hiện và khắc phục những tồn tại trên, gần đây, người ta đã nghiên cứu và áp dụng các giải pháp kỹ thuật thay thế, theo phương thức tiếp cận mới: hướng tới việc duy trì những đặc thù tự nhiên của dòng chảy về dung lượng, cường độ và chất lượng; kiểm soát tối đa dòng chảy từ nguồn, giảm thiểu tối đa những khu vực tiêu thoát nước trực tiếp, lưu giữ nước tại chỗ và cho thấm xuống đất, đồng thời kiểm soát ô nhiễm. Đó chính là những nguyên lý của thoát nước bề mặt bền vững (Sustainable Urban Drainage Solutions – SUDS).

Cách tiếp cận của thoát nước mưa bền vững SUDS là thoát chậm, không phải thoát nhanh, để tránh lượng mưa tập trung lớn trong thời gian ngắn (Hình 4.1.a). Tiết diện cống sẽ khó có thể đáp ứng nếu lượng mưa lớn, tồn kém mà nước vẫn tràn cống, gây ngập đường, lụt nhà. Vì vậy, phải tổ chức thoát nước mưa, kết hợp các biện pháp khác nhau một cách đồng bộ, sao cho dòng chảy được tập trung chậm. Sử dụng các hồ điều hòa trên diện tích thu gom và truyền dẫn nước mưa để lưu giữ nước là một cách làm phổ biến (Hình 4.1.b). Bên cạnh đó, sử dụng bản thân diện tích bề mặt của thành phố, tăng cường việc cho nước mưa thấm tự nhiên xuống đất qua các thảm cỏ xanh, đồng thời cải tạo cảnh quan và điều hòa tiểu khí hậu. Thấm nước mưa xuống cũng giúp bổ cập hữu hiệu cho nguồn nước ngầm đang ngày càng khan hiếm, suy kiệt (Hình 4.1.c). Trong trường hợp khả năng kiểm soát dòng chảy tại chỗ bị hạn chế, thì có thể phân tán dòng chảy theo các lưu vực nhỏ, dẫn nước đi bằng những giải pháp như sử dụng kênh mương hở và nông, lưu giữ nước mưa trong những hồ chứa và cho thấm xuống đất ở những khu vực thích hợp. Để ngăn ngừa và kiểm soát ô nhiễm, có thể áp dụng những giải pháp xử lý tại chỗ trong bãi đất thấm, hồ lắng, bãi lọc ngầm trồng cây, vv...

SUDS là tổng hợp các giải pháp công trình và phi công trình, hướng tới giải quyết tổng hợp các vấn đề:

- Đảm bảo sự hài hoà cảnh quan thiên nhiên, xanh hóa đô thị;
- Giải quyết úng ngập;
- Ngăn ngừa ô nhiễm nước và giảm ô nhiễm môi trường nói chung;
- Đảm bảo nơi cư trú cho các sinh vật hoang dã, tăng cường đa dạng sinh học;
- An toàn cho cư dân địa phương
- Bảo vệ nguồn nước, bổ cập nguồn nước ngầm.

Các giải pháp trong SUDS có thể được phân thành 3 cấp độ từ thấp lên cao, theo chiều dòng chảy nước mưa, như sơ đồ dưới đây:



Hình 4.2. Các cấp độ áp dụng SUDS

4.1.2. Các giải pháp kiểm soát nước mưa

4.1.2.1. Giải pháp kiểm soát tại nguồn

Hiện có nhiều giải pháp thích hợp có thể giảm thiểu sự úng ngập mà mỗi hộ dân có thể đóng góp sức vào đó. Làm các mái nhà xanh, và xây dựng các bể chứa thu nước mưa tại mỗi gia đình, mỗi tòa nhà là các giải pháp hiệu quả, nhiều ích lợi.

Mái nhà xanh

Như đã trình bày ở Chương 3, mái nhà xanh có thể giữ được nước mưa, làm chậm dòng chảy nước mưa trước khi rơi xuống mặt đất, chảy vào rãnh, cống thoát nước. Mái nhà xanh còn mang lại nhiều lợi ích khác như mang lại giá trị kinh tế từ cây trồng, vật nuôi, giảm nhiệt độ ở tầng mái và áp mái, cải tạo tiểu khí hậu khu vực, cải thiện cảnh quan...

Bể chứa nước mưa

Có thể xây dựng các bể chứa nước ngầm dưới mỗi tòa nhà và cho cả khu nhà hay các khu vực công cộng, làm thành các hồ điều hòa thu nước mưa. Nước trữ có thể dùng để tưới đường, rửa cây, cứu hỏa, ... hay cho thấm xuống bổ cập cho nước ngầm.

Ở các tòa nhà cao tầng như chung cư, văn phòng, trung tâm thương mại, ký túc xá, nước mưa được thu gom từ mái và các khu vực trong khuôn viên của khu nhà có thể đưa tới các bể chứa nằm dưới tầng hầm. Cặn bẩn trong nước mưa được loại bỏ nhờ hệ thống lọc lắp đặt trên bể, trước khi nước mưa chảy vào bể chứa. Nước mưa sau đó được sử dụng để cấp cho xả rửa vệ sinh, tưới sân vườn, dự trữ cho chữa cháy...

Ở các trường học, nước mưa có thể được thu gom chủ yếu từ mái của các tòa nhà và dẫn tới các bể chứa xây dựng ngầm hoặc nổi. Nước mưa được sử dụng cho mục đích rửa ráy của học sinh và cấp nước tưới cây, vườn trong trường. Hệ thống thu gom nước mưa cũng là mô hình giúp học sinh nâng cao ý thức trong việc sử dụng tiết kiệm nước, có ý thức hơn trong bảo vệ môi trường và có trách nhiệm hơn vì sự phát triển bền vững đô thị. Đối với các vùng ven biển hay các đảo, nước mưa thu gom được sử dụng làm nước ăn uống trong thời gian học sinh học tại trường.



Hình 4.3. Bể chứa và hệ thống xử lý nước mưa tại Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

Có thể trang bị thùng / bồn chứa nước cho các công ty và nhà ở tư nhân. Các thùng / bồn chứa này được kết nối với hệ thống máng xối trên mái nhà để thu và giữ nước mưa tạm thời. Có nhiều kích cỡ thùng / bồn chứa và có thể lắp đặt trên hoặc dưới mặt đất. Điều quan trọng là phải làm rỗng các bồn chứa này trước mùa mưa và sau mỗi trận mưa. Nước thu gom có thể được dẫn (chạm) về hệ thống thoát nước mưa (hoặc tự thấm). Hoặc có thể tái sử dụng nước mưa cho những mục đích khác như tưới cây, vườn, dội toilet và rửa xe. Trong những trường hợp này, có thể sử dụng bồn chứa nhiều ngăn.

4.1.2.2. Giải pháp kiểm soát cục bộ:

Lớp chắn thực vật

Sử dụng lớp chắn thực vật trên bề mặt phủ làm giảm tốc độ của dòng chảy, cho phép lắng, lọc trầm tích và các chất ô nhiễm khác. Lớp chắn lọc thực vật không chỉ giúp kiểm soát các nguồn ô nhiễm phân tán tốt, mà còn cung cấp một khoảng không gian xanh cho cộng đồng dân cư.



Hình 4.4. Bề mặt giữ nước bằng thảm thực vật

Lớp bề mặt phủ thấm nước

Thường được sử dụng cho các vỉa hè, bãi đỗ xe,... Lớp bề mặt thường được cấu tạo từ sỏi, bê tông rỗng, nhựa đường rỗng,... Phía dưới bề mặt thấm có thể là đường ống có xẻ rãnh thu

nước mưa, hay hệ thống khoang rỗng chứa nước tạm thời, dẫn ra đường cống dẫn nước mưa. Lắp đặt lớp vải địa kỹ thuật bên dưới bề mặt thấm cho phép bổ cập nước ngầm.

Via hè thấm nước: Bề mặt không thấm nước (gạch lát, bê tông, nhựa đường...) làm tăng lưu lượng tức thời của dòng chảy nước mưa. Khó có thể giảm diện tích bề mặt đường phố, địa điểm công cộng, bãi đỗ xe, vỉa hè, nhưng hoàn toàn có thể chuyển sang thiết kế các bề mặt này thấm được nước, sử dụng các vật liệu như bê tông thấm nước, nhựa đường thấm nước, đá lát rãnh thấm nước, đá lát lưới, ...



Hình 4.5. Vỉa hè thấm nước

(Werner P, Röstel G et al. 2011)

Vỉa hè thấm nước có thể dễ dàng kết hợp với dải cây xanh hoặc kênh hở thoát nước mưa. Giải pháp này áp dụng cho các khu vực sử dụng loại hệ thống thoát nước riêng, tách nước mưa khỏi nước thải.

Kênh hở thường có chi phí xây dựng thấp hơn và việc bảo trì cũng đơn giản hơn. Trong trường hợp hệ thống thoát nước bị quá tải, cần thiết kế đường thoát khẩn cấp. Có thể xem xét sử dụng mặt đường cho mục đích thoát nước khẩn cấp ra hệ thống sông, hồ trong những trận mưa rất lớn. Mặt đường cũng có thể làm nhiệm vụ giữ nước tạm thời.



Hình 4.6. Bãi đỗ xe có bề mặt phủ thấm nước

Thay thế các bề mặt cứng không thấm trong thành phố bằng các khu vực xanh hơn sẽ cải thiện được khả năng thấm và qua đó làm giảm lưu lượng đỉnh. Phát triển các khu vực xanh là trách nhiệm của cả chính quyền, doanh nghiệp và người dân địa phương. Các khu vực xanh có thể có quy mô khác nhau, từ quy mô công viên xanh, đến trồng cây dọc theo các tuyến phố và cũng có thể là cải thiện nhà cửa tư nhân (các khu vườn) tại địa phương. Cây nên được trồng trực tiếp xuống đất, không trồng trong chậu. Rễ cây sẽ có tác động tích cực đối với khả năng thấm. Hình 4.12 cung cấp một số ví dụ minh họa khu vực xanh trong công viên.

Tạo ra các khu vực xanh trong thành phố không chỉ cải thiện khả năng thấm mà còn qua đó làm giảm lưu lượng đỉnh. Điều này cũng sẽ làm cho thành phố trở nên hấp dẫn hơn, có thể xây dựng các khu vui chơi giải trí, cải thiện điều kiện sống và thu hút du khách hơn. Điều này sẽ đem lại nhiều lợi ích kinh tế cho thành phố.



Hình 4.7. Công viên xanh

Ở cấp độ địa phương, tức là đối với đối tượng người dân và các doanh nghiệp, cần có chế độ khuyến khích phát triển nhiều khu vực xanh hơn nhằm cải thiện khả năng thấm. Bề mặt các khu vườn thay vì phủ bằng bề mặt cứng không thấm có thể được thay thế bằng mặt cỏ, hoặc mặt đất có cây trồng.

Khu đất trồng giữ nước tạm thời



Hình 4.8. Khu đất trồng giữ nước

Dòng chảy nước mưa được lưu trữ tạm thời trong khu đất trồng khi trời mưa, sau đó được rút đi (thông thường sau 24 giờ). Khi trời không mưa, khu đất trồng có thể được sử dụng như bãi cỏ thông thường hoặc trở thành một phần của thảm thực vật trong khu vực. Một phần nước bề mặt sẽ được thấm xuống tầng nước ngầm, một phần bốc hơi, còn lại chảy vào hệ thống thoát nước hay chảy trực tiếp ra nguồn tiếp nhận. Ngăn lọc sỏi ở đáy khu đất trồng, bố trí trước cống thoát nước, giúp điều tiết lưu lượng nước chảy vào cống. Vùng đất trồng cho phép giảm tải trọng thủy lực lên các công trình của hệ thống thoát nước như đường cống, các rãnh hay kênh hở, bảo vệ các công trình này khỏi quá tải, xói lở cũng như làm giảm ngập úng cho hạ lưu.

Trong trường hợp mưa to, cần có dòng chảy tràn để tiêu thoát nước khẩn cấp, khi công suất của vùng đất trồng giữ nước bị quá tải.

Có thể trồng thêm các bụi cây hoặc cây đơn lẻ, góp phần tạo cảnh quan thiên nhiên.

Mương thấm, kênh dẫn trồng thực vật

Mương đào, được đổ đầy đá, sỏi, tạo thành bãi thấm có độ dẫn thủy lực cao. Dòng chảy tràn được lọc qua lớp vật liệu trong kênh và có thể thấm vào đất qua đáy và bờ kênh. Mương thấm lọc thường được xây dựng kết hợp với công trình tiền xử lý như kênh thực vật để hạn chế lượng trầm tích quá lớn chảy vào mương thấm lọc.



Hình 4.9. Mương thấm nước

Mương thấm nước: Nước từ các khu vực xung quanh chảy vào các mương này. Vì mương được xây theo chiều ngang, nước sẽ không chảy xuống các khu vực hạ nguồn mà được giữ trong mương. Để làm cạn nước trong mương, cần xây một cống nhỏ ở phía đáy, cống này được nối với hệ thống thoát nước. Một phần nước mưa sẽ tự thấm vào đất.

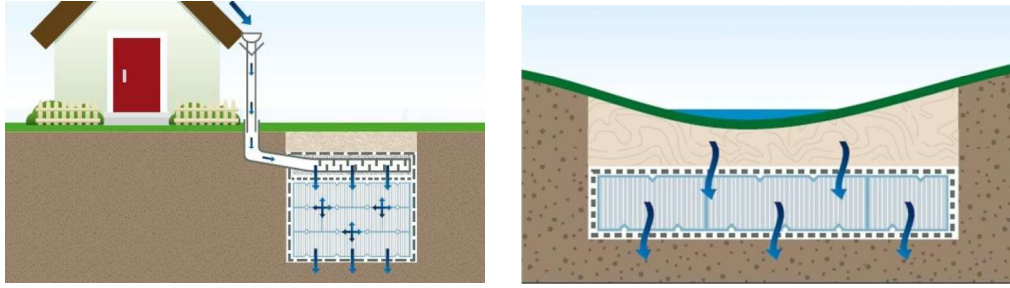
Kênh dẫn với dòng chảy chậm, được phủ lớp thực vật 2 bên bờ cũng như dưới đáy, cho phép loại bỏ các chất ô nhiễm như chất rắn lơ lửng, các chất hữu cơ, chất dinh dưỡng, kim loại nặng, giúp tăng khả năng thấm, giảm tốc độ dòng chảy tràn. Kênh thực vật có thể là tự nhiên hoặc nhân tạo, có thể tham gia vận chuyển nước mưa (chỉ thiết kế với dòng chảy chậm để đạt hiệu quả kiểm soát cao). Giải pháp này thích hợp cho các bề mặt ở khu dân cư nhỏ, khu công nghiệp, trung tâm thương mại, xung quanh bãi đỗ xe, ...



Hình 4.10. Kênh dẫn trồng thực vật

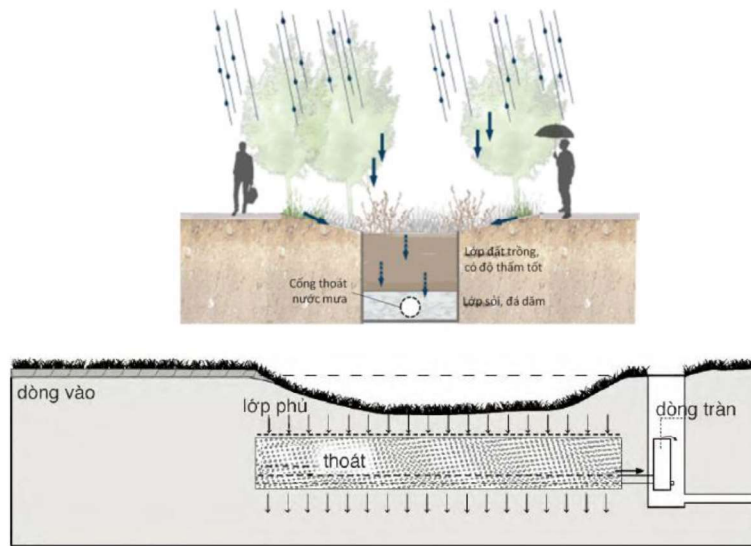
Kết hợp hào thấm và kênh dẫn

Sau khi được thu giữ, nước sẽ được dẫn vào hệ thống thoát nước. Hoặc cũng có thể để nước thấm vào lòng đất thay vì kết nối với hệ thống thoát nước.



Hình 4.11. Ví dụ nước tự thấm sau khi được trữ tạm thời

Bên cạnh việc giảm lưu lượng đỉnh, nước tự thấm còn có tác động tích cực đối với việc bổ cập tầng nước ngầm và cải thiện tình trạng hạn hán. Giảm mực nước ngầm do khai thác quá mức sẽ dẫn đến sụt lún đất.



Hình 4.12. Hệ thống kênh dẫn và hào thấm

(Werner P, Röstel G et al. 2011)

Hệ thống này kết hợp các hào thấm ngầm phía dưới các kênh dẫn hay khu đất trồng chứa nước. Nước mưa tập trung vào khu đất trồng, thấm lọc dần vào hào thấm ngầm, rồi sau đó được lọc qua các lớp đất và bổ cập cho nguồn nước ngầm. Trường hợp lượng nước mưa vượt quá ngưỡng trữ nước của khu đất trồng, phần nước tràn qua đập tràn chảy vào cống thoát sau khu đất. Hào thấm ngầm có thể kết nối lại để dẫn nước mưa vào mạng lưới thoát nước hay xả ra nguồn tiếp nhận. Ưu điểm của hệ thống này là không phụ thuộc vào cấu trúc đất khu vực, do vậy có thể áp dụng cho các khu vực với cấu trúc đất có độ thấm nước thấp.

Bể chứa nước mưa ngầm

Các khoang rỗng hay bể chứa ngầm có thể loại bỏ chất rắn lơ lửng, đồng thời cho phép tái sử dụng nước mưa.

Bề mặt thấm nước ở không gian công cộng như bãi đỗ xe: nước mưa thường tập trung nước mưa về các bể ngầm, bên trong có các khối nhựa cứng, rỗng được lắp ghép, xếp chồng lên nhau, tạo thành một hệ thống thấm lọc và lưu giữ nước mưa chắc chắn (Hình 4.8). Bên

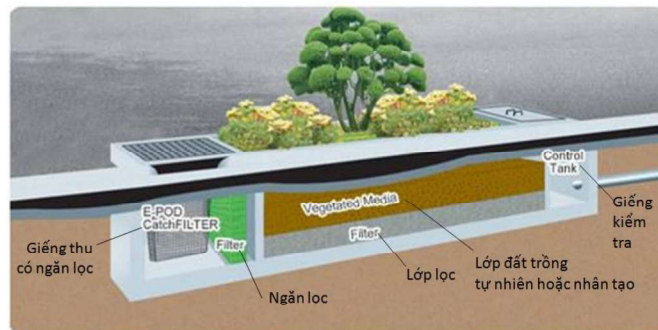
ngoài khối lắp ghép này phủ lớp vải chống thấm và lớp sỏi. Tùy thuộc vào diện tích bãi đỗ xe, người ta tiến hành xây dựng một hoặc nhiều modul. Nước mưa được thấm, lọc sạch và làm chậm dòng chảy qua hệ thống này, trước khi chảy tới các bể chứa hay cống thoát nước. Cũng có một số bãi xe sử dụng ngay các cấu kiện bê tông đúc sẵn làm bể chứa ngầm. Nước mưa ở đây được sử dụng cho các mục đích công cộng như rửa đường, cấp cho đài phun nước, cứu hỏa, vv...



Hình 4.14. Bể lưu trữ nước ngầm trong công viên

Hình trên là một bể trữ nước ngầm dưới đất được xây dựng trong một công viên. Bể được xây dựng từ các khối hộp rỗng bằng nhựa có thể chứa nước và vì thế giúp trữ nước tạm thời. Nước sẽ thoát từ từ qua các ống nhỏ chảy về hệ thống thoát nước. Bể được phủ một lớp đất bên trên, khu vực phía trên bề mặt có thể sử dụng cho mục đích vui chơi giải trí.

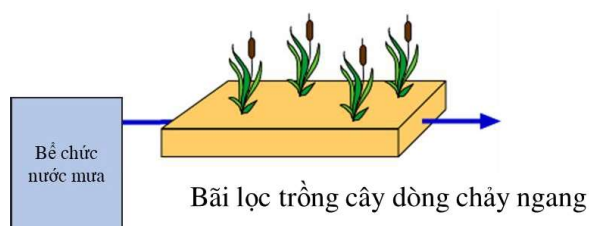
Vườn hoa, thảm xanh và bể ngầm trên vỉa hè: Dọc các tuyến phố, bên cạnh hệ thống thoát nước mưa vốn có của thành phố, các công trình thấm lọc nước mưa cũng có thể được xây dựng. Các công trình đó có thể là các bể mặt có khả năng thấm nước dọc theo hai bên đường hoặc trên vỉa hè, hay hệ thống hào lọc ngầm, các hố ga thấm lọc. Ở một số nơi, người ta thu gom và chứa nước mưa trực tiếp dọc theo bề mặt đường giao thông. Các hào lọc hay hố ga thấm lọc giúp bổ cập nguồn nước ngầm. Lượng nước mưa chảy tràn sẽ chảy vào mạng lưới thoát nước mưa của thành phố.



Hình 4.15. Hệ thống thu gom và xử lý nước mưa dọc theo các tuyến phố

(Han et al. 2012)

Trường hợp nước bề mặt bị ô nhiễm, có thể bổ sung thêm các công trình xử lý trước khi xả đi hay tái sử dụng. Kết nối bể chứa, bể xử lý ngầm với các công trình SUDS của khu vực và của toàn lưu vực cũng là những giải pháp thông minh, hiệu quả cao.



Hình 4.16. Kết hợp công trình xử lý nước mưa với bãi lọc ngầm dòng chảy ngang

(Werner P, Röstel G et al. 2011)

4.1.2.3. Giải pháp kiểm soát trên toàn khu vực

Vùng đất ngập nước và hồ điều hòa

Các hồ đô thị hay các vùng đầm lầy nông có nhiều thực vật nước đều có chức năng xử lý ô nhiễm nước chảy tràn từ bề mặt đô thị cũng như kiểm soát lưu lượng nước chảy tràn rất hiệu quả. Các chất ô nhiễm được loại bỏ khi dòng nước chảy qua hồ vùng đất ngập nước với tốc độ chậm, nhờ cơ chế lắng trọng lực và hấp thụ bởi thực vật nước. Các hồ đô thị, các vùng đất ngập nước là nơi cư trú cho động vật hoang dã, và mang lại giá trị cảnh quan lớn cho cư dân.

Không giống như khu đất trồng giữ nước tạm thời, các thủy vực này chứa nước quanh năm, và được bổ cập từ chính nguồn nước mưa. Mục nước trong hồ được kiểm soát để vừa phát huy các giá trị cảnh quan, sinh thái, vừa đảm bảo dung tích điều hòa hiệu quả. Trước mùa mưa, mực nước trong hồ được hạ thấp. Mực nước thay đổi cũng giúp cho các hệ động thực vật khác nhau có thể phát triển. Các hồ đô thị giúp điều hòa tiểu khí hậu, và thường là nơi vui chơi giải trí cho người dân, góp phần nâng cao chất lượng cuộc sống.

Tùy trường hợp cụ thể, có thể xem xét bổ cập nước ngầm từ nước hồ. Khi đó lớp cách ly ở đáy hồ không được thiết kế.

Với các dòng chảy ô nhiễm nặng, cần kiểm soát để không chảy vào hồ, hay cần được xử lý phù hợp trước khi chảy vào hồ.



Hình 4.17. Hồ điều hòa nước mưa kết hợp với các chức năng khác

Trong HTTN đô thị, hồ chứa có hai chức năng chủ yếu là: chống ngập và chống ô nhiễm. Hồ chứa có hai loại cơ bản: hồ khô và hồ ướt.

Hồ ướt là hồ được chứa nước thường xuyên. Chiều cao dao động mực nước trong hồ không quá nhiều. Chiều sâu của hồ thường được giới hạn từ 1.5 – 3.0m để tránh hiện tượng phân tầng nhiệt trong hồ (theo Lawrence et al., 1996).



Hình 4.18. Hồ ướt

(Werner P, Röstel G et al. 2011)

Hồ khô là những khu đất chứa nước trong một thời gian nhất định (trong khi mưa và sau khi mưa, sau đó nước sẽ cạn dần và trở lại khô. Khả năng xử lý nước thải của hồ khô kém hơn hồ ướt.



Hình 4.19. Hồ khô

(Werner P, Röstel G et al. 2011)

Ao, hồ thấm lọc trồng thực vật

Tạo ra hay tận dụng các ao, hồ có sẵn bằng cách xây đập, cải tạo bờ, để chứa nước quanh năm, vừa có tác dụng cảnh quan, sinh thái, vừa cho phép kiểm soát nước mưa chảy tràn, cải thiện chất lượng nước, giảm trầm tích và xói lở.

Cần lưu ý thiết kế các giải đất ven bờ, rào chắn (bằng thực vật hay vật liệu khác), hệ thống biển báo, ... để đảm bảo an toàn cho cộng đồng địa phương.

Bể nước mưa quy mô lưu vực

Có thể sử dụng một số khu vực nhất định trong đô thị làm khu vực giữ nước mưa tạm thời, với quy mô khác nhau.



Hình 4.20. Bể lưu trữ nước

Hình trên minh họa một bể thu giữ nước quy mô lớn. Tại khu vực cuối bể có một số cống kết nối với mạng lưới thoát nước mưa để dẫn nước ra ngoài. Có thể sử dụng nước mưa cho nhiều mục đích. Không gian trên bể thường được tận dụng cho các mục đích công cộng (công viên, quảng trường, bãi đỗ xe... Thậm chí không gian trong bể, trong kênh dẫn, có thể sử dụng cho nhiều mục đích khi mùa khô không có nước mưa, như bãi đỗ xe ngầm, đường hầm giao thông, ...

Các khu đa chức năng tham gia kiểm soát ngập úng

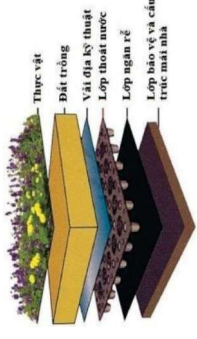
Kiểm soát ngập úng là một giải pháp thay thế trong trường hợp không có đủ diện tích để xây dựng các hồ thu giữ nước như đã thảo luận trên đây. Kiểm soát ngập úng có thể được chia thành hai loại:

1. Xây dựng các vùng dễ bị ngập úng làm khu vực giữ nước tạm thời (phân khu);
2. Cho phép ngập với một mức độ nhất định trên đường phố.

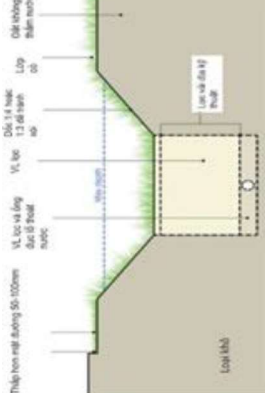
Phân vùng ngập úng cho các khu/vùng đô thị là nội dung rất quan trọng. Các vùng đất thấp/dễ bị ngập úng có thể được xây dựng làm khu vực giữ nước tạm thời. Do đó, không nên bố trí trong các vùng này những công trình có chức năng quan trọng của thành phố như bệnh viện, trường học. Thay vào đó, những khu vực này có thể được xây dựng làm công viên hoặc các khu vui chơi giải trí và đồng thời làm nơi trữ nước tạm thời vào những lúc thời tiết cực đoan.

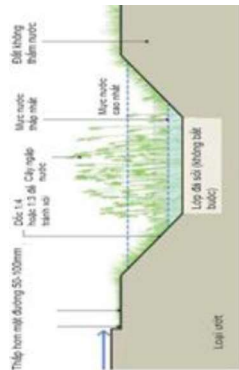
Bảng dưới đây tổng hợp các giải pháp kỹ thuật SUDS với các ưu nhược điểm.

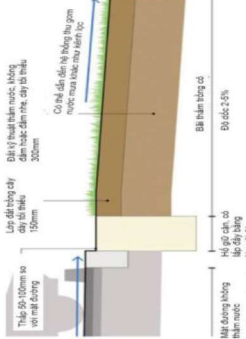
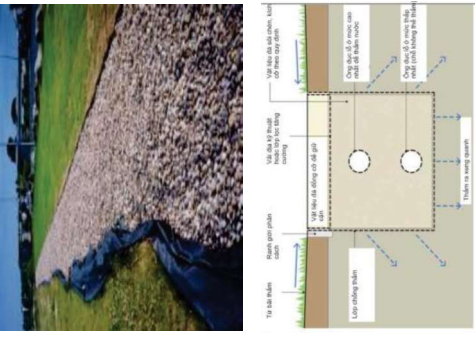
Bảng 4.1. Tổng hợp các giải pháp thoát nước mưa bền vững SUDS³⁹

Giải pháp	Ưu điểm	Nhược điểm	Hình ảnh minh họa
1. Kiểm soát tại nguồn <i>1.1 Mái nhà xanh</i> Sử dụng một lớp đất trồng trên mái nhà để trồng các loại cây, cỏ. Nước mưa được lưu giữ và được thấm thực vật hấp thụ	- Khả năng loại bỏ tốt các chất gây ô nhiễm từ không khí; - Có thể áp dụng nơi có mật độ xây dựng cao; - Có lợi ích về sinh thái, thẩm mỹ và tiện ích, thậm chí cả kinh tế; - Giúp tăng thêm quỹ đất; - Cải thiện chất lượng không khí; - Giúp kiểm soát hiệu ứng đảo nhiệt trong đô thị; - Cách nhiệt, chống ồn cho tòa nhà; - Giảm sự giãn nở vật liệu mái.	- Tăng chi phí so với mái thông thường; - Không thích hợp cho mái dốc; - Khó làm với nhà xây dựng sẵn, cải tạo; - Chi phí bảo dưỡng thảm thực vật; - Có thể gây ra các thiệt hại khác nếu nhà bị thấm, dột...	 
<i>1.2 Hệ thống thu gom nước mưa</i> Nước mưa được thu từ mái nhà hoặc từ các bề mặt phủ khác, dẫn vào các bể trên mặt đất hoặc bể ngầm để sử dụng tại chỗ. Có thể có các bước xử lý để đạt chất lượng nước khác nhau	- Với thiết kế đảm bảo, có thể kiểm soát nguồn nước mưa chảy tràn; - Là nguồn nước cấp thay thế, giúp giảm nhu cầu cấp nước.	- Gia tăng chi phí cho xây dựng bể và hệ thống thu gom, xử lý; - Tốn diện tích nếu xây nổi; - Cần có bơm nếu xây bể ngầm; - Nếu bề mặt thu không sạch, hoặc không khi ô nhiễm thì nguồn nước mưa có thể không đảm bảo. Phải thêm thiết bị xả lọc đầu, bộ lọc...	

³⁹ GIZ, 2019, có biên tập lại và bổ sung.

1.3 Vườn thấm, vỉa hè thấm và các bề mặt thấm Nước mưa chảy tràn trên bề mặt được thấm qua vỉa hè nhân tạo, vườn thấm có tính thấm. Vỉa hè có thể là các khối lát có khe hở giữa các khối, hoặc mặt lát xấp xỉ đảm bảo nước thấm qua được. Nước có thể được trữ ở lớp vật liệu bên dưới và có khả năng thấm được vào đất.	- Giảm lưu lượng đỉnh, làm giảm nguy cơ ngập lụt hạ lưu; - Giảm tác động của ô nhiễm trong dòng chảy vào môi trường; - Có thể áp dụng ngay cả những khu vực có mật độ xây dựng cao; - Giảm độ sâu chôn cống thoát nước, giúp giảm chi phí xây dựng - Giải pháp linh hoạt, phù hợp với mục đích sử dụng; - Cho phép tận dụng không gian, do đó không cần thêm đất; - Tạo cảnh quan môi trường.	Không thể áp dụng ở nơi dòng chảy rửa trôi nhiều bùn cặn; Nguy cơ tắc nghẽn lâu dài, phát triển có hại nếu công tác bảo trì kém. Có thể tăng chi phí bảo trì do phải cắt cây, dọn cỏ...	 
2. Kênh dẫn có khả năng thấm			
2.1. Kênh thấm Là các kênh nông, rộng và có thực vật, được thiết kế để lưu trữ và/hoặc dẫn dòng chảy, đồng thời loại bỏ các chất ô nhiễm	- Dễ dàng tích hợp vào cảnh quan khu vực; - Loại bỏ tốt các chất ô nhiễm; - Giảm tốc độ và lưu lượng dòng chảy; - Chi phí xây dựng thấp; - Dễ kiểm tra và xử lý ô nhiễm, tắc nghẽn.	- Không thích hợp cho các khu vực dốc; - Hạn chế cơ hội sử dụng cây để tạo cảnh quan; - Rủi ro tắc nghẽn trong kết nối với hệ thống kỹ thuật.	

- Không phù hợp tại các khu vực có đất mịn (đất sét);
- Có thể gây tắc nghẽn;
- Dễ thất bại khi bề mặt kém hoặc vật liệu dể vào có nhiều sét, sạn bẩn;
- Giới hạn đối với lưu vực tương đối nhỏ;
- Chi phí thay thế vật liệu lọc nếu xảy ra tắc nghẽn.

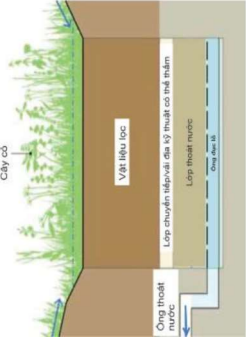
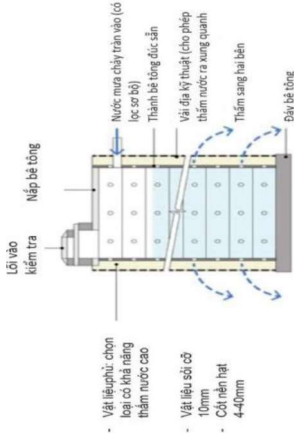
- Yêu cầu cảnh quan phù hợp;
- Yêu cầu phải quản lý, bảo trì;
- Dễ bị tắc nghẽn nếu không được quản lý tốt;
- Không thích hợp cho các khu vực có độ dốc lớn.

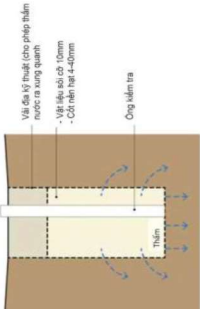
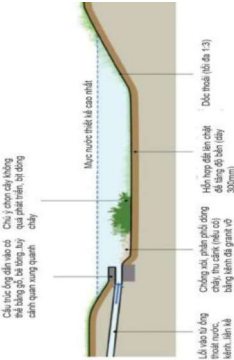
- Đạt được lợi ích thủy lực;
- Có thể được kết hợp dễ dàng vào cảnh quan khu vực;
- Phù hợp với các vị trí bên cạnh đường giao thông.

- Có thể được thiết kế với chức năng tạo cảnh quan;
- Rất hiệu quả trong việc loại bỏ các chất ô nhiễm;
- Có thể giảm lưu lượng và tốc độ dòng chảy;
- Có thể bố cục linh hoạt để vừa với cảnh quan khu vực;

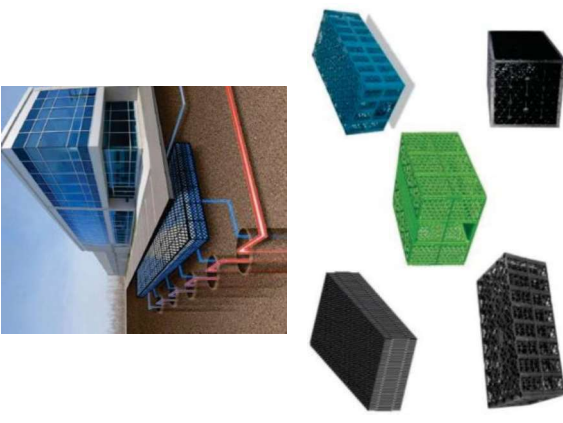
3.2. Mương lọc
Mương, rãnh có lớp sỏi, lưu trữ tạm thời dòng chảy nước mưa. Các rãnh này có thể lọc cặn bẩn đồng thời dẫn nước mưa đến các công trình SUDS hạ lưu

3.3. Mương lọc sinh học
Là những khu vực thấp, thường dựa vào các dải đất tự nhiên, thảm thực vật, được thiết kế cải tiến, có khả năng lưu giữ, lọc để loại bỏ chất ô nhiễm và giảm dòng chảy hạ lưu.

	- Rất phù hợp để xây dựng ở những khu vực không thấm nước cao, với điều kiện hệ thống được thiết kế tốt và có đủ không gian.		
4. Công trình thấm 4.1. Hố thấm, giếng thấm Là các hố thấm hình vuông hoặc tròn, đổ gạch vỡ, đá dăm hay sỏi, được xây bằng gạch, bê tông đúc sẵn hoặc vòng giếng bằng nhựa HDPE đúc sẵn, xung quanh thành có đục lỗ. Các hố thấm có thể được xây dựng thành nhóm, liên kết với nhau để thoát nước cho các diện tích lớn.		-	 
	- Diện tích chiếm đất ít; - Trữ và bổ sung cho nước ngầm; - Giảm lưu lượng dòng chảy bề mặt và giảm lưu lượng đỉnh; - Dễ được cộng đồng chấp nhận; - Dễ thi công và vận hành.	- Cần khảo sát thực địa, điều kiện địa chất để xác nhận tốc độ thấm phù hợp; - Không thích hợp cho các nơi nước ngầm có thể ảnh hưởng tới nền móng, các công trình xây dựng nơi có cấu trúc địa chất yếu, hoặc nước ngầm xâm nhập có thể ảnh hưởng xấu đến hệ thống thoát nước hiện có; - Không thích hợp để thoát dòng chảy ô nhiễm; - Có thể tăng nguy cơ ô nhiễm nước ngầm; - Về lâu dài hiệu suất có thể giảm do độ bão hòa, ngậm nước trong đất tăng lên; - Cần có quản lý, vận hành và bảo trì.	

4.2. Mương thấm Mương được đào nông, rải đá, gạch vụn, tạo thể tích lưu trữ tạm thời của dòng chảy nước mưa. Nước thấm vào đất qua đáy và hai bên thành mương	- Mương thấm có thể làm giảm đáng kể tốc độ và lưu lượng dòng chảy; - Giúp giảm đáng kể tải lượng ô nhiễm; - Có thể được kết hợp vào cảnh quan khu vực.	- Có thể bị tắc sau một thời gian sử dụng; - Cần kiểm soát đất mịn (đất sét) từ trên thượng lưu; - Khó nhìn thấy ô nhiễm; - Không thích hợp để thoát dòng chảy ô nhiễm; - Có thể tăng nguy cơ ô nhiễm nước ngầm; - Cần có quản lý, vận hành và bảo trì.	 
4.3. Khu vực thấm Là khu đất thấp, được thiết kế để lưu trữ dòng chảy bề mặt và thấm dần vào đất, kết hợp với trồng cây	- Giảm lượng nước bề mặt chảy; - Có thể rất hiệu quả trong việc loại bỏ chất ô nhiễm nhờ lọc qua đất; - Đóng góp vào việc bổ cập nước ngầm; - Đơn giản, chi phí xây dựng thấp; - Dễ quản lý vận hành và bảo trì.	- Có thể thất bại nếu bố trí không đúng, thiết kế kém và thiếu bảo trì, đặc biệt là nếu không áp dụng tiên xử lý thích hợp; - Cần điều tra, khảo sát địa kỹ thuật đầy đủ, xác định khả năng thấm phù hợp; - Không thích hợp cho nơi có nồng độ chất ô nhiễm cao; - Yêu cầu diện tích lớn, bằng phẳng.	 

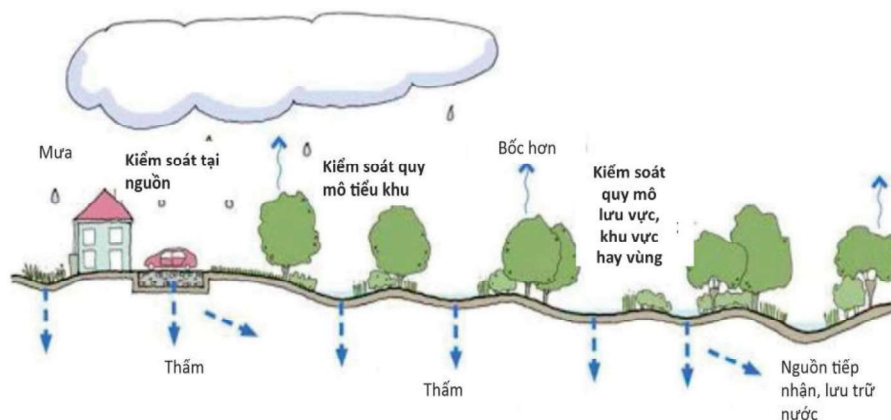
4.4. Vườn chứa nước mưa Các khu vườn gia đình hoặc công cộng hạn chế bề mặt bê tông	- Dễ dàng xây dựng; - Quy mô nhỏ, phân tán giữa các địa điểm; - Giúp cải thiện không gian mở; - Giúp tăng giá trị cảnh quan; - Bổ cục linh hoạt để vừa với phong cảnh xung quanh; - Dễ bảo trì	- Vì quy mô nhỏ nên tác dụng làm chậm dòng chảy ít; - Yêu cầu cảnh quan và quản lý phù hợp; - Dễ bị tác nghẽn nếu không được quản lý tốt; - Không thích hợp cho các khu vực có sườn dốc	
5. Khu vực lưu trữ tạm thời (khô) Trong một trận mưa, nước thoát về khu vực trống thông qua các cửa xả để kiểm soát lưu lượng. Khu vực được tính toán để chứa đủ lượng nước cần thiết. Thông thường, các khu vực đều khô, ngoại trừ trong và ngay sau trận mưa	-	- Giảm lưu lượng dòng chảy không nhiều; - Độ sâu bị hạn chế bởi mực nước đầu vào và đầu ra của hệ thống.	
6. Lưu trữ và chứa nước	-	-	
6.1. Hồ điều hòa	- Có thể phục vụ cho các trận mưa lớn; - Khả năng loại bỏ tốt các chất ô nhiễm; - Lợi ích sinh thái, thẩm mỹ, tiện ích; - Có thể thêm giá trị cho các chức năng trong khu vực: nuôi cá, cảnh quan, thể thao giải trí, ...	- Khó tìm đất ở các khu vực mật độ cao; - Cần quản lý vận hành, bảo dưỡng; - Cần có chế độ vận hành phù hợp khi hồ đa mục tiêu.	

6.2. Khu vực lưu trữ (trữ) Làm giảm lưu lượng đỉnh kết hợp xử lý nước mưa. Chúng được thiết kế luôn có nước, với thảm thực vật thủy sinh nổi và chìm	- Có thể phục vụ cho các trận mưa lớn; - Khả năng loại bỏ tốt các chất ô nhiễm; - Có thể được sử dụng nơi nước ngầm dễ bị ô nhiễm nếu có lớp lót; - Lợi ích sinh thái, thẩm mỹ và tiện ích cao; - Có thể thêm giá trị cho các chức năng trong khu vực.	- Điều kiện kỹ khí có thể xảy ra khi không có dòng chảy, nước tù đọng; - Khó tìm đất ở các khu vực mật độ cao; - Có thể không phù hợp với các khu vực dốc, do yêu cầu về kê cao; - Cần làm lưới rào cách ly phòng ngừa hiểm	
6.3. Bể chứa ngầm Khi điều kiện địa chất phù hợp, có thể sử dụng giải pháp này để kiểm soát dòng nước mưa. Bể thường được xây dựng từ các mô-đun lắp ghép, phù hợp với các yêu cầu cụ thể tại chỗ	- Kết cấu mô-đun linh hoạt; - Sử dụng đa mục đích (thấm và/hoặc lưu trữ); Có thể sử dụng nước mưa cho nhiều mục đích (cứu hỏa, tưới, ...); - Độ rộng cao (tên đến 96%) cung cấp dung tích chứa cao; - Nhẹ, dễ vận chuyển, lắp đặt; - Có khả năng kiểm soát các trận mưa lớn; - Có thể được lắp đặt ngầm bên dưới các điểm công cộng, dịch vụ, ... Có thể được lắp đặt bên dưới không gian mở công cộng, ví dụ như khu vui chơi, bãi đậu xe... - Ổn định về kết cấu và vật liệu lâu dài.	- Không có xử lý nước; - Hiệu suất có thể khó theo dõi; - Có thể khó vận hành bảo dưỡng; - Chi phí cao.	

6.4. <i>Vùng ngập nước</i> Những khu vực chứa nước lâu dài, có thể được sử dụng để làm giảm lưu lượng, vận tốc dòng chảy nước mưa, kết hợp xử lý nước. Mục nước có thể được kiểm soát, thùy theo lượng mưa.	- Khả năng loại bỏ tốt các chất ô nhiễm; - Có thể được áp dụng ở nơi nước ngầm dễ bị ô nhiễm; - Dễ được cộng đồng chấp nhận; - Lợi ích sinh thái, thẩm mỹ và tiện ích cao; - Có thể thêm giá trị cho địa phương.	- Cần diện tích lớn; - Độ sâu cho việc điều hòa nước mưa bị hạn chế; - Có thể xảy ra thiếu hụt, mất cân bằng dinh dưỡng trong mùa không sử dụng; - Không thích hợp cho khu vực dốc; - Hiệu suất dễ bị ảnh hưởng bởi dòng chảy có nhiều bùn cặn.	
---	--	---	---

4.1.3. Nguyên tắc lựa chọn các giải pháp SUDS

Việc lựa chọn giải pháp SUDS phù hợp với từng đối tượng khác nhau rất cần thiết, đảm bảo cho dự án có thể thành công.



Hình 4.21. Phân loại các công trình SUDS theo quy mô dự án

(Nguồn: www.susdrain.org)

Phân loại theo quy mô thực hiện dự án:

Theo quy mô, có thể chia ra 3 mức độ khác nhau từ hộ gia đình tới quy mô lưu vực, khu vực hay vùng. Với mỗi loại quy mô, có thể áp dụng một hoặc nhiều giải pháp phù hợp.

- Quy mô hộ gia đình:

Giải pháp mái nhà xanh khá phù hợp với quy mô hộ gia đình và có thể ứng dụng rộng rãi. Các giải pháp có thể điều chỉnh linh hoạt theo kết cấu và quy mô công trình. Nhu cầu trồng cây, làm vườn tại các gia đình trong đô thị hiện nay đang ngày càng được quan tâm. Có thể làm mái nhà xanh dạng vườn hoặc phổ biến hơn là các dạng thùng, chậu, cũng tạo được không gian cây xanh trên mái, sân thượng, ban công.

Ngoài ra, các vườn cây nhỏ trước hay sau nhà, vỉa hè thấm nước cũng là những giải pháp có thể áp dụng.

Hệ thống thu gom nước mưa hộ gia đình rất đơn giản và dễ áp dụng, phục vụ cho tưới cây, rửa xe, góp phần giảm lượng nước sạch tiêu thụ hàng tháng. Các bể chứa nước mưa trong các hộ gia đình ở nông thôn, ngoại thành có thể là nguồn cung cấp nước sinh hoạt quan trọng cho ăn uống và các mục đích khác, nhất là các khu vực có nguồn nước bị khan hiếm hay bị ô nhiễm.

- Quy mô tiểu khu:

Có thể tận dụng tối đa các bãi đất trống, vườn hoa, tiểu cảnh trong các diện tích công cộng ở các cơ quan nhà nước, trường học, nhà văn hóa, trạm y tế... để phát triển các bãi thấm (bãi cỏ, mương/kênh thấm có rải sỏi, ...).

Phía dưới các sân chơi, hoặc bãi đỗ xe có thể xây bể chứa nước mưa ngầm. Cũng có thể kết hợp công trình sân chơi (mùa khô) thành hồ chứa nước mưa tạm thời (vào mùa mưa) ở khu đô thị. Cần chú ý liên kết các công trình này với các công trình thoát nước hiện có.

Ngoài ra, nên áp dụng bê tông thấm nước khi xây dựng các hạng mục hạ tầng cho tiểu khu như đường đi trong ngõ, vỉa hè, đường nội bộ...

Bãi lọc trồng cây hoặc hồ/kênh nhân tạo cũng là một giải pháp lưu trữ nước mưa thích hợp với quy mô tiểu khu, cụm dân cư nếu điều kiện đất đai cho phép.

- Quy mô đô thị hay toàn lưu vực

Với quy mô cấp đô thị, khu vực hay vùng, có thể áp dụng tổng hợp nhiều giải pháp SUDS. Với giải pháp quy mô lớn, cần thực hiện ngay trong giai đoạn quy hoạch, phát triển các dự án đô thị. Sử dụng vật liệu thấm nước để xây dựng hệ thống giao thông như các mặt đường, vỉa hè. Các công trình công cộng như quảng trường, bến xe, bãi đỗ xe cũng có thể sử dụng vật liệu thấm nước. Phát triển các bãi thấm dọc hai bên các tuyến đường, các dải phân cách. Xây dựng và duy trì các hồ điều hòa trong đô thị. Xây dựng hệ thống các bể chứa nước mưa ngầm dưới các công trình công cộng và dọc theo các tuyến đường.

Tỷ lệ diện tích đất dành cho cây xanh ở đô thị, khu công nghiệp, khu chế xuất, khu công nghệ cao cần tuân theo QCVN 01:2021/BXD, Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về Quy hoạch xây dựng.

Những khu ngoại ô thành phố có thể dành đất để xây dựng các khu đất ngập nước, tăng cường bổ cập nước ngầm từ nước mưa. Quy mô các bãi lọc/thấm hay hồ điều hòa ở đô thị cần đủ lớn để đảm bảo đủ năng lực lưu trữ và thoát nước mưa, tùy theo điều kiện về đặc điểm mưa ở mỗi khu vực.

Mối liên hệ với hệ thống thoát nước và công trình hạ tầng kỹ thuật hiện có

Việc nâng cấp và cải tạo hệ thống thoát nước hiện có theo hướng thoát nước bền vững là một trong những thách thức lớn hiện nay ở Việt Nam. Việc áp dụng giải pháp nào để nâng cấp, cải tạo các hệ thống, công trình hiện có không thể theo một hình mẫu chung nào, mà cần áp dụng linh hoạt cho từng địa phương và tùy vào đặc điểm công trình hiện tại mà các đô thị đang có.

Do đặc điểm điều kiện tự nhiên (địa hình, địa chất và lượng mưa) ở các vùng khí hậu ở nước ta khá đa dạng, các công trình SUDS cũng nên được lựa chọn dựa trên lượng mưa, loại đất (địa chất), độ dốc (địa hình), các rủi ro lũ lụt khác và không gian có sẵn trong khu vực phát triển.

Trình tự xây dựng dự án thoát nước bền vững

Trình tự xây dựng dự án thoát nước bền vững về cơ bản tuân theo các văn bản quy định về đầu tư xây dựng hiện hành. Việc tích hợp các giải pháp thoát nước mưa theo hướng bền vững SUDS tốt nhất là thực hiện ngay ở bước quy hoạch. Ở bước lập dự án đầu tư xây dựng công trình, cần định hướng áp dụng các giải pháp SUDS, ở các quy mô khác nhau, nhằm kiểm soát dòng chảy nước mưa càng gần nơi phát sinh càng tốt, nghĩa là ở quy mô công trình xây dựng hay tiểu khu, đặt trong mối liên hệ hữu cơ với các giải pháp quy mô dự án, liên kết với các giải pháp quy mô khu đô thị, lưu vực. Ở giai đoạn nghiên cứu lập quy hoạch phân khu 1/2000, hay quy hoạch chi tiết 1/500, có thể áp dụng các công cụ mô hình hóa, mô phỏng hệ thống thoát nước mưa, với các giải pháp SUDS, đánh giá chi phí, lợi ích của các giải pháp này, định hướng các khu vực áp dụng SUDS quy mô khu đô thị hay lưu vực. Tiếp theo, các công cụ này lại có thể được áp dụng ở khâu đề xuất dự án đầu tư, cân nhắc lựa chọn các giải pháp SUDS cụ thể trước khi đưa ra quyết định đầu tư. Ở bước thiết kế chi tiết thì sẽ cụ thể

hoá thiết kế các công trình, tính toán thủy lực mạng lưới thoát nước nhằm tối ưu hoá hiệu quả làm chậm, lưu trữ dòng chảy bởi các công trình đề xuất.

Tài liệu hướng dẫn của GIZ đã đề xuất các bước chính trong Lập dự án đầu tư xây dựng công trình có tích hợp SUDS như sau (GIZ, 2019, có chỉnh sửa, bổ sung):

- (1) Giới thiệu dự án và thảo luận khả năng tích hợp SUDS;
- (2) Thu thập tài liệu cơ sở cần có để thiết kế;
- (3) Đánh giá sơ bộ điều kiện tự nhiên của dự án;
- (4) Phân tích mối quan hệ giữa thoát nước và phát triển không gian;
- (5) Lựa chọn các giải pháp/công trình thoát nước theo hướng SUDS;
- (6) Lựa chọn tiêu chuẩn thiết kế và mô hình thủy lực mô phỏng;
- (7) Triển khai thiết kế:
 - Lựa chọn trận mưa tính toán;
 - Đề xuất các phương án thoát nước có thể áp dụng;
 - Xác định kích thước công trình, dự báo và đánh giá khả năng ngập lụt theo các kịch bản;
 - Tính toán thiết kế các công trình thoát nước theo hướng SUDS;
 - Khái toán kinh tế.
 - Xây dựng hướng dẫn vận hành và bảo dưỡng;
 - Đánh giá tác động môi trường, xác định các rủi ro liên quan và biện pháp ngăn ngừa, giảm thiểu, kiểm soát sự cố.
- (8) Thiết lập mô hình tổ chức, quản lý vận hành và bảo dưỡng hệ thống.
- (9) Xác định trách nhiệm của các bên liên quan trong thực hiện dự án SUDS.

Cần lưu ý về vấn đề vận hành và bảo dưỡng các công trình SUDS đã lựa chọn. Chẳng hạn chọn thực vật dễ sống hơn là loại yêu cầu chăm sóc kỹ lưỡng, phù hợp với điều kiện khí hậu địa phương, có sẵn ở địa phương để trồng trong các thảm thực vật, bãi lọc trồng cây... thay vì nhập ở nước ngoài hoặc ở vùng, miền có điều kiện khác hẳn. Các thực vật thủy sinh ở miền nhiệt đới như nước ta vốn rất sẵn có: sậy, chuối hoa, sen, súng, bèo tây, thủy trúc, cói, ... Các thảm xanh, sườn dốc có thể trồng các loại cỏ, lau, tranh, lác, hương bài, ...

Các công trình SUDS nên được thiết kế có độ dốc thoải vừa phải và nông, tránh gây nguy hiểm cho cư dân, nhất là trẻ em. Các vực nước cần được thiết kế có hàng rào, khoảng cách ly, biển báo, hệ thống chiếu sáng an ninh, ... Độ dốc của bề mặt dẫn vào các công trình SUDS thường nhỏ hơn 3% để tránh xói mòn, sạt lở. Phần miệng cống nên bố trí chỗ thuận tiện để nhân viên có thể dễ dàng tiếp cận, kiểm tra và duy tu bảo dưỡng.

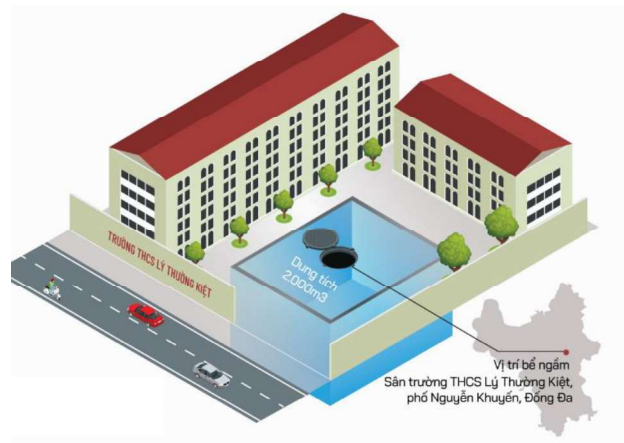
Trách nhiệm của các bên liên quan trong thực hiện dự án SUDS cũng cần được xác định rõ, tránh tình trạng công trình xây dựng xong không có ai quan tâm quản lý, hay không có nguồn lực để vận hành, duy tu.

4.2. Một số dự án thoát nước mưa bền vững ở Việt Nam

4.2.1. *Hầm ngầm nước mưa chống ngập tại trường THCS Lý Thường Kiệt, Hà Nội*

Từ hàng chục năm nay, phố Nguyễn Khuyến là một trong những trọng điểm úng ngập của Hà Nội. Ghi nhận của Công ty Thoát nước thành phố, mỗi khi mưa 30-70 mm/h, đoạn phố trước trường THCS Lý Thường Kiệt ngập sâu 30-70 cm, kéo dài hàng trăm mét, gây cản trở giao thông, ảnh hưởng đến sự an toàn của học sinh hai trường tiểu học và trung học cơ sở Lý Thường Kiệt. Khu vực này từng xảy ra trường hợp điện giật khi ngập nước dẫn đến tử vong. Nguyên nhân ngập nặng được xác định là mặt phố Nguyễn Khuyến trũng, thấp hơn nền các công trình xung quanh 50-80 cm. Phố nằm xa nguồn thải, hệ thống thoát nước chưa đồng bộ.

Năm 2019, quận Đống Đa triển khai dự án cải tạo thoát nước phố Nguyễn Khuyến. Việc xây dựng hầm ngầm là một trong các hạng mục của dự án. Hầm ngầm được xây dựng giữa năm 2020, bàn giao cho Công ty Thoát nước Hà Nội đưa vào vận hành từ cuối năm 2021. Nằm tại sân trường THCS Lý Thường Kiệt, hầm có kết cấu bê tông cốt thép, dài 34 m, rộng 9 m, sâu 6,6 m, dung tích 2.000 m³. Chiều dày đáy và tường hầm là 50 cm, trần 30 cm. Giữa hầm có cột bê tông cốt thép để chống đỡ trần.



Hình 4.22. Hầm ngầm chứa nước mưa ở sân trường THCS Lý Thường Kiệt⁴⁰

Khi mưa lớn, hệ thống thu gom trước cổng trường THCS Lý Thường Kiệt đưa nước về hầm qua đường ống dài hơn 22 m. Trong hầm có 3 máy bơm chìm (2 máy chạy, 1 máy dự phòng). Khi mưa ngớt, mực nước trong hệ thống thoát nước của thành phố giảm, 2 máy bơm sẽ bơm nước từ hầm trở lại hệ thống. Công trình này đã giúp giảm thời gian bị ngập úng trên phố Nguyễn Khuyến khi có mưa lớn. Kết quả theo dõi cho thấy với trận mưa có cường độ 138 mm/2h, nếu không có hầm ngầm chứa nước mưa, thời gian ngập lụt trên phố Nguyễn Khuyến kéo dài tới nửa ngày, nhưng khi có hầm chứa này thì thời gian ngập lụt chỉ còn 1-2 giờ.

4.2.2. *Dự án thí điểm bể điều tiết nước mưa bằng công nghệ Crosswave ở TP. Hồ Chí Minh*

Năm 2017, Trung tâm Điều hành chương trình chống ngập nước TP. HCM đã phối hợp cùng nhà tài trợ thực hiện thí điểm xây dựng bể điều tiết nước mưa ngầm bằng sản phẩm

⁴⁰ Vnexpress.net

Crosswave. Qua theo dõi tình hình mưa, ngập nước tại khu vực Trước nhà thiếu nhi quận Thủ Đức từ năm 2017 đến 8 tháng đầu năm 2018, cho thấy hiệu quả giảm ngập khi lắp đặt bể. Trước khi lắp đặt thí điểm, khu vực thường xuyên ngập khi có mưa với vũ lượng từ 30mm, với chiều sâu ngập từ 10cm đến 15cm. Đến nay, khi xuất hiện cơn mưa có vũ lượng từ 60mm mới bắt đầu xuất hiện ngập; thực tế nhận thấy tình hình ngập nước tại khu vực đã giảm về số lần ngập, chiều sâu ngập và diện tích ngập. Do thực hiện thí điểm, dung tích chứa của bể chỉ 100m³ nên khả năng đáp ứng yêu cầu xóa ngập vẫn còn hạn chế.



Hình 4.23. Thi công lắp đặt bể ngầm chứa nước mưa theo công nghệ Crosswave tại TP. HCM

Cấu tạo hồ điều tiết nước mưa:

- Phần lõi: sản xuất thành từng module, được lắp ghép ngầm lại với nhau để tạo thành hệ khung (rỗng) hoàn chỉnh theo hình dạng đã được thiết kế. Khi lắp đặt hoàn chỉnh thì thể tích chiếm chỗ của vật liệu chỉ chiếm khoảng 5% thể tích của bể; tỉ lệ chứa nước đạt 95% tổng dung tích.

- Ống dẫn nước vào bể: tác dụng thu nước tràn trên mặt được để dẫn nước vào bể nhằm giảm tình trạng ngập trên đường.

- Ống thoát nước từ bể ra hệ thống cống chung: sau khi kết thúc mưa, tổ chức bơm nước từ bể ra hệ thống cống chung hiện hữu; đảm bảo bể luôn trong tình trạng phục vụ điều tiết khi xuất hiện những cơn mưa tiếp theo.

- Lớp cát đệm: tác dụng làm lớp đệm, tạo độ bằng phẳng đáy bể, đảm bảo khả năng tự thấm nhằm bổ cập cho nước ngầm.

- Màng kỹ thuật: tác dụng định hình cho hệ khung của bể được kín khít, không cho nước ngầm xâm nhập vào hồ làm giảm khả năng chứa, điều tiết nước.

- Vải địa kỹ thuật: tác dụng bảo vệ khung và thành bể, phân bố lực tác dụng do tải trọng bản thân của lớp cốt liệu bên trên và tải trọng khác.

Ưu điểm của hồ điều tiết bằng công nghệ Crosswave:

- Tỉ lệ chứa nước cao: 95% dung tích chứa theo thiết kế;
- Tiết kiệm thời gian: thi công trong thời gian ngắn so với công nghệ bê-tông truyền thống;

- Chịu được tải trọng lớn: chịu được xe có tải trọng 25 tấn lưu thông bên trên, chiều sâu lắp đặt lên đến 6m;

- Xây dựng nhanh: do trọng lượng của các module nhẹ nên thao tác lắp ghép rất nhanh, chủ yếu thực hiện bằng thủ công, không cần huy động xe máy, trang thiết bị, dụng cụ phức tạp để phục vụ thi công;

- Không gây ô nhiễm môi trường.

- Có thể tái sử dụng lại vật liệu crosswave và lắp đặt tại vị trí khác trong trường hợp phải di dời để đầu tư hạ tầng kỹ thuật khác.

4.2.3. Quản lý nước mưa ở Thành phố Hải Phòng

Hiện UBND thành phố Hải Phòng đã ban hành Quy hoạch cao độ nền thoát nước mặt thành phố Hải Phòng đến năm 2025, tầm nhìn đến 2050 tại Quyết định số 510/QĐ-UBND ngày 08/3/2018 và Quy hoạch thoát nước thành phố Hải Phòng đến năm 2025, tầm nhìn đến năm 2050 tại Quyết định số 626/QĐ-UBND ngày 27/3/2018.



Hình 4.24. Hồ Tam Bạc đóng vai trò quan trọng trong điều hòa nước mưa và điểm du lịch cảnh quan ở trung tâm TP. Hải Phòng

Hầu hết các hồ nước tồn tại trong thành phố đều được sử dụng để điều hoà nước mưa. Tổng diện tích 78,06ha, phần lớn các hồ có độ sâu từ 1,0 - 1,5 m. Chất lượng nước của tất cả các hồ đều rơi vào tình trạng bị ô nhiễm vì thoát chung với hệ thống nước thải (trừ hồ An Biên, Hồ Sen, Tiên Nga đã được cải tạo và hồ Phương Lưu mới được xây dựng). Các cống ngăn triều hoạt động theo chế độ thủy triều và phụ thuộc mực nước trong hệ thống thoát nước. Khi triều xuống mở các cửa triều để nước từ ao hồ kênh rạch chảy ra sông, khi triều cường cống được đóng lại, nước trong thời gian triều cường được lưu lại trong hệ thống cống, hồ điều hoà và kênh dẫn nước. Khi trời mưa đồng thời với triều cường, nước mưa được lưu trữ trong các hồ điều hoà; khi nước triều xuống, nước mưa được xả ra sông. Các hồ điều hoà còn được sử dụng để tạo cảnh quan môi trường.

4.2.4. Dự án thí điểm SUDS ở thành phố Quảng Ngãi⁴¹

Dự án do GIZ (Đức) tài trợ, được thực hiện tại khuôn viên Sở Xây dựng Quảng Ngãi. Nhằm giảm tốc độ dòng chảy nước mưa, trong khi khu vực đã có hệ thống mương thu nước hoàn chỉnh, dự án đã xây dựng bổ sung hệ thống thu gom kết nối với bể nước mưa để điều tiết lưu lượng dòng chảy trước khi thoát vào hệ thống cống chung của thành phố. Đồng thời, giải pháp thấm được áp dụng với 2 phương án vật liệu nền cho sân nhà: dạng ô cò, với các ô có kết hợp gạch lát sân vườn, cho phép nước thấm xuống nền đất bên dưới; và gạch block xi-măng, trồng cỏ, cho phép nước thấm xuống dưới. Nhóm dự án đã sáng tạo khu vườn bonsai trên nền gạch block trồng cỏ, tạo những không gian giải lao lý tưởng. Bể trữ nước mưa được bố trí tại khu vực nền nhà để xe. Bể có khả năng giúp giảm ngập hiệu quả cho khu vực phía sân trước, đồng thời trữ nước phục vụ cho việc tưới cây, vệ sinh cho công trình.

4.2.5. Dự án SUDS ở thành phố Cà Mau

Thành phố Cà Mau có địa hình thấp, bằng phẳng, thường xuyên bị ngập nước, bị ảnh hưởng của chế độ thủy triều. Khu vực hoa viên tại ngã giao Hùng vương - Phan Ngọc Hiển có nền vỉa hè cao hơn nhiều so với lòng đường, khu vực nút giao là điểm tụ thủy, nhưng hệ thống thoát nước nhỏ (D600) nên không thể thoát toàn bộ lượng nước, bị ngập lụt khi mưa lớn. Bên cạnh đó mực nước ngầm cao nên cũng ảnh hưởng đến lượng nước còn giữ lại trong cống nhiều (số liệu khảo sát là trên 60% thể tích cống bị đọng nước), nhưng hệ thống cống thoát nước đường kính nhỏ nên không thoát kịp.

Với vai trò là hoa viên tạo cảnh quan và là điểm dừng chân của người đi bộ, diện tích 1.036m², lưu vực ảnh hưởng 20.670m², Dự án đã áp dụng giải pháp vườn thu nước mưa tự thấm, sử dụng kết cấu thấm lọc nhiều lớp, có lớp trồng cây bên trên. Nước mưa được thu qua ống HDPE đục lỗ có bọc vải địa kỹ thuật, đầu nối với bể chứa ngầm. Bên cạnh tận dụng các loại cây lớn có sẵn, dự án thay mới lớp cỏ trồng, và trồng bổ sung các cây bụi có hoa, để định hình lối đi và tạo ranh giới phân cách tự nhiên cho công trình. Các băng ghế và các tiện ích ngoài trời, có độ bền cao, được bố trí trong không gian công cộng dành người đi dạo trên vỉa hè. Bể chứa ngầm sử dụng các module chứa nước thiết kế dạng khối rỗng, ghép lại với nhau, sản xuất bằng vật liệu nhựa tái chế, có trọng lượng nhẹ, kích thước linh hoạt. Nước mưa chảy tràn từ bể thu được đầu nối đến hố ga hiện hữu. Ngoài ra, kết cấu vỉa hè thấm nước làm từ các tấm nhựa tái chế có ngầm âm dương liên kết tạo mảng lớn được lắp dưới lớp gạch tự chèn, tạo một tầng rỗng thoát nước nhanh. Sử dụng gạch tự chèn, kích thước nhỏ, có khe thấm nước, bên dưới có lớp lọc với vải địa kỹ thuật, lớp đá sỏi lót⁴².

⁴¹ GIZ. Báo cáo dự án nghiên cứu Thoát nước bền vững các tỉnh Sóc Trăng, Cà Mau, Quảng Ngãi. 2019.

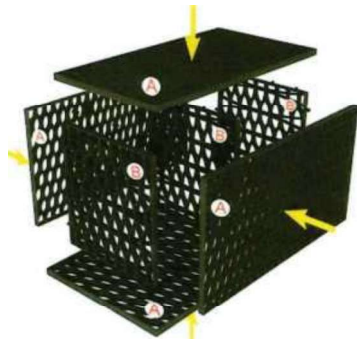
⁴² GIZ. Báo cáo Dự án nghiên cứu Thoát nước bền vững các tỉnh Sóc Trăng, Cà Mau, Quảng Ngãi. 2019.



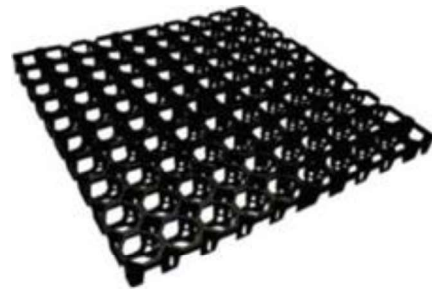
Thi công vỉa hè thấm nước



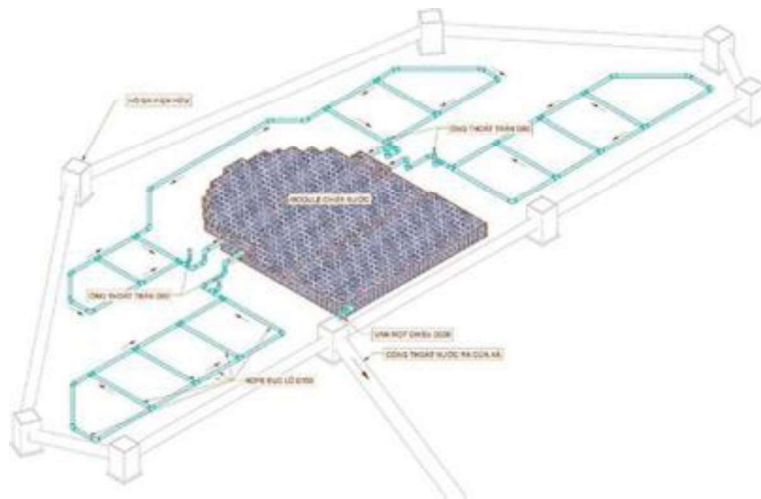
Dự án được khánh thành



Bể nước mưa được xây dựng từ các mô-đun chứa nước



Tấm vỉ thoát nước vỉa hè



Hình 4.25. Sơ đồ đấu nối hệ thống SUDS với cống thoát nước hiện trạng, Dự án trình diễn SUDS ở trung tâm TP. Cà Mau⁴³

4.2.6. Dự án SUDS ở thành phố Sóc Trăng⁴⁴

Tại Thành phố Sóc Trăng, Dự án trình diễn đã được thực hiện cho khu vực trước tòa nhà trụ sở các ban Đảng. Khu vực sử dụng hệ thống cống thoát nước chung đã xuống cấp và bị quá tải, thường bị ngập khi có mưa lớn. Giải pháp tăng khả năng thu và trữ nước được áp dụng là

⁴³ McGrath T, Huỳnh Trọng Nhân (2022). Triển khai mô hình thoát nước bền vững tại một số đô thị vùng ĐBSCL - Kinh nghiệm và bài học. Tạp chí Xây dựng, 4/2022.

⁴⁴ (GIZ. Báo cáo dự án nghiên cứu Thoát nước bền vững các tỉnh Sóc Trăng, Cà Mau, Quảng Ngãi. 2019).

bố trí bể nước mưa ngầm. Khả năng thu và thấm nước được thực hiện với vỉa hè thấm, mương thấm khô.



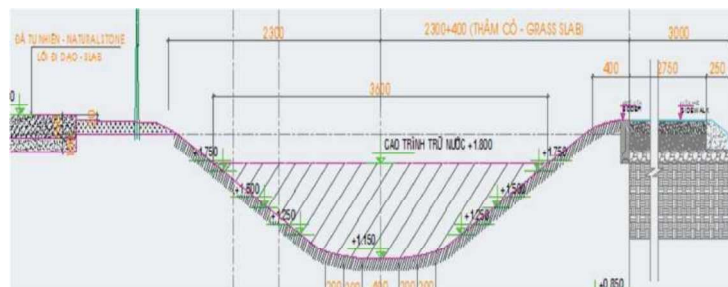
Hình 4.26. Phối cảnh địa điểm Dự án SUDS tại Thành phố Sóc Trăng ⁴⁵

Nước mưa chảy tràn qua các rãnh được thu và trữ trong mương khô sinh học, một phần thấm, một phần chảy qua ống thu đặt trong mương khô vào bể chứa ngầm (cấu kiện bằng mô-đun nhựa hoặc hộp bê tông), một phần chảy vào cống thoát ra hệ thống thoát nước.

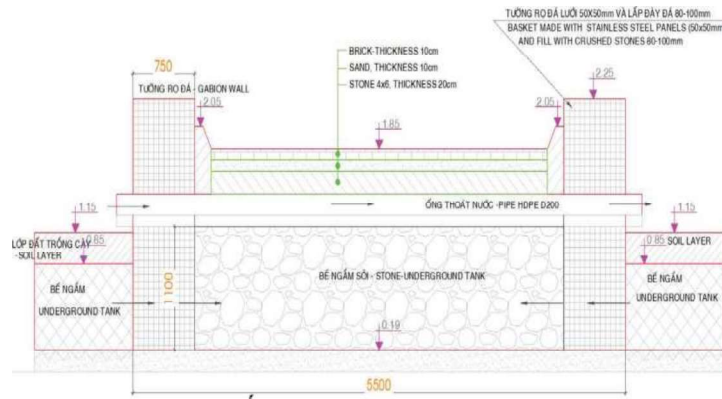
Mương khô sinh học có tiết diện hình thang, chiều dài 45m, bề rộng mặt thoáng 4,6m và chiều rộng đáy 1,2m, sâu 0,85m. Thể tích trữ của mương khoảng 64,2m³. Mương gồm 3 tầng:

- Tầng mặt, là tầng trữ nước mưa ban đầu, trồng cỏ tạo cảnh quan, hút chất ô nhiễm và giảm xói mòn. Trong tầng này đặt các ống nối với các mô-đun chứa nước ngầm.
- Tầng thứ 2 là tầng đất thấm.
- Tầng thứ 3 là bể trữ nước. Có thể sử dụng bể ngầm với các mô-đun ghép bằng nhựa hoặc xây dựng bằng bê tông cốt thép. Kích thước bể BxLxH = 6,3x44,8x0,66m. Chiều dài được chia làm 2 phần, nối với nhau bằng ống D200mm. Đáy bể để rỗng, với các thanh dầm, đặt cách mặt đất 1,8m, bên dưới có lót lớp sỏi dày 200mm và lớp vải địa kỹ thuật. Nắp bể có chiều dày 0,15m. Thể tích trữ nước của bể khoảng 136,17m³. Phía bên trên bể có lớp đất chiều dày 0,3-1,0m, trồng cỏ và cây tạo cảnh quan. Nước mưa làm đầy mương khô sau 2 giờ.

Để bảo đảm nước từ bể ngầm chỉ chảy ra hệ thống thoát nước mà không chảy ngược, sử dụng van 1 chiều dạng cửa phẳng, hoặc xi-phông.



⁴⁵ (GIZ. Hướng dẫn áp dụng thiết kế hệ thống thoát nước mưa đô thị theo hướng bền vững. Năm 2019).



Hình 4.27. Mặt cắt ngang và mặt bằng bố trí mương khô⁴⁶

Các vật liệu sử dụng: bề mặt vỉa hè tự thấm, với gạch block có rãnh tự chèn; mảng xanh đa chức năng, trồng cỏ, có gia cố bởi lớp sỏi chống xói mòn; lối đi dạo phủ lớp cỏ kết hợp với đá kích thước 1000x1000x150 mm; đá gia cố tự nhiên giúp tăng cường tính ổn định cho lối đi từ đường vào trong tòa nhà đồng thời giúp tăng công suất trữ và thoát nước; trồng bụi trúc dọc tường tòa nhà; bố trí mảng đa chức năng (thư giãn) với 4 ghế đá ốp gỗ, 2 cây cầu qua mương.

Kết quả tính toán cho thấy với trận mưa có chu kỳ lặp lại 10 năm, có xét đến lượng mưa tăng lên do biến đổi khí hậu, công trình SUDS giúp giảm 29,2% chiều sâu ngập và giảm 50% thời gian ngập (thời gian ngập > 0,1m từ 2 giờ giảm xuống còn 1 giờ). Với trận mưa 5 năm, có xét lượng mưa tăng do biến đổi khí hậu, SUDS giúp giảm 31,8% chiều sâu và 66,7% thời gian ngập (thời gian ngập > 0,1m từ 1,5 giờ giảm xuống còn 0,5 giờ).

Cả hai phương án SUDS đã trữ và thấm khoảng 276,9 đến 291,9 m³ nước mưa, giữ lại khoảng 14,5% đến 15,3% thể tích nước lưu vực, giúp làm chậm dòng chảy và góp phần bổ cập nước ngầm. Các mô hình cũng cho thấy sự đa dạng và dễ ứng dụng với nhiều điều kiện không gian khác nhau của SUDS và đồng thời làm tăng giá trị cảnh quan khu vực.

4.3. Tính toán thiết kế các công trình kiểm soát nước mưa cục bộ:

4.3.1. Một số yêu cầu chung:

Tham khảo tiêu chuẩn của Hiệp hội Quản lý nước Đức, DWA-A 117: Bảng tính - Thiết kế khu vực giữ mưa, và DWA-A 138-1: Hệ thống thấm nước mưa - Quy hoạch, xây dựng, vận hành.

- Khả năng thấm của đất:

Điều kiện cần của các công trình thấm là khả năng thấm của đất tại vị trí xây dựng công trình (K_f). Thông thường giá trị K_f này phải nằm trong khoảng từ 10^{-6} đến 10^{-3} m/s. Đối với những nơi có hệ số thấm nhỏ hơn 10^{-6} m/s thì cần có thêm một bể chứa tạm thời kết hợp với ống thoát khi bể chứa đầy, ống thoát này được đấu nối trực tiếp với hệ thống thoát nước mưa của thành phố.

⁴⁶ GIZ. Hướng dẫn áp dụng thiết kế hệ thống thoát nước mưa đô thị theo hướng bền vững. 2019.

- Mục nước ngầm:

Khoảng cách tối thiểu từ đáy công trình thoát nước tới mực nước trung bình cao nhất của nước ngầm là 1 m.

- Khoảng cách đến các công trình dân dụng:

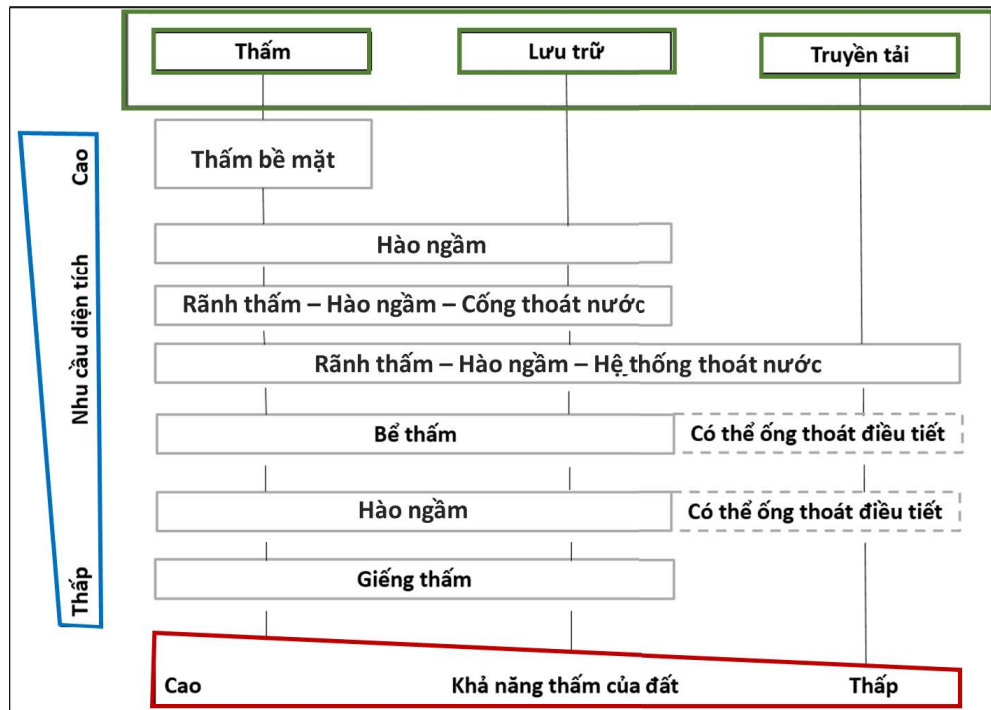
Đối với các công trình dân dụng không có tường chống nước, khoảng cách giữa công trình thấm tới công trình dân dụng phải lớn hơn 1,5 lần độ sâu của công trình dân dụng.

- Lưu vực thoát nước của hệ thống/công trình:

Diện tích lưu vực thoát nước của hệ thống/công trình không nên lớn hơn 200 ha hoặc là thời gian nước chảy về đến công trình không quá 15 phút.

- Công suất thấm/thoát nước của công trình: $q_s \geq 2 \text{ l/(s.ha)}$.
- Tần suất chảy tràn cho phép của công trình: $P < 10 \text{ năm}$.

Các loại công trình thấm, khả năng thấm và nhu cầu diện tích được tổng hợp trên sơ đồ dưới đây.



Hình 4.28. Một số loại công trình SUDS và đặc điểm

4.3.2. Tính toán lưu lượng chảy vào công trình thấm

Theo tiêu chuẩn DWA-A 117 và DWA-A 138-1, diện tích lưu vực tính toán được xác định như sau:

$$A_{Bem} = \sum (A_{E,b,a,i} \cdot C_{m,i}) + \sum (A_{E,nb,a,i} \cdot C_{m,i})$$

Trong đó:

A_{Bem} : tổng diện tích lưu vực thoát nước tính toán đổ về công trình thấm (đã tính đến hệ số dòng chảy), m^2 ;

$A_{E,b,a,i}$: tổng diện tích bề mặt không cho nước thấm qua trong lưu vực thoát nước đổ về công trình thấm, m²;

$A_{E,nb,a,i}$: tổng diện tích bề mặt cho nước thấm qua trong lưu vực thoát nước đổ về công trình thấm, m²;

$C_{m,i}$: hệ số dòng chảy trung bình của các bề mặt, [-];

Lưu lượng chảy về công trình thấm:

$$Q_{zu} = (A_{Bem} + A_{VA}) \cdot r_{D(n)} \cdot 10^{-7}$$

Trong đó:

Q_{zu} : lưu lượng chảy về công trình thấm trong khoảng thời gian D, m³/s;

A_{Bem} : tổng diện tích lưu vực thoát nước tính toán đổ về công trình thấm (đã tính đến hệ số dòng chảy), m²;

A_{VA} : tổng diện tích công trình thấm, m²;

$r_{D(n)}$: lượng mưa đơn vị trong thời gian D và tần suất xuất hiện n năm, l/(s.ha).

Tính toán khả năng thấm của công trình

Lưu lượng thấm được tính toán theo công thức sau:

$$Q_S = k_i \cdot A_S$$

Trong đó:

Q_S : khả năng thấm của công trình, m³/s;

k_i : tốc độ thấm, m/s;

A_S : diện tích thấm cần thiết, m².

Thể tích lưu nước cần thiết của công trình:

Thể tích lưu nước cần thiết được tính theo công thức sau:

$$V_{VA} = (Q_{ZU} - Q_S - Q_{Dr}) \cdot D \cdot 60 \cdot f_z$$

Trong đó:

V_{VA} : Thể tích lưu cần thiết, m³;

Q_{ZU} : Lưu lượng đổ về công trình thấm trong thời gian D, m³/s;

Q_S : Khả năng thấm của công trình, m³/s;

Q_{Dr} : Lưu lượng điều tiết thoát ra khỏi công trình thấm (áp dụng trong trường hợp công trình thấm có hệ thống điều tiết thoát nước), m³/s;

D : Thời gian mưa tính toán, phút;

f_z : hệ số an toàn (thường lấy bằng 1,2), [-].

Điều kiện biên:

$$q_s = \frac{k_i \cdot A_s + Q_{Dr}}{A_{Bem}} \cdot 10^7 \geq 2 \text{ l/(s.ha)}$$

Trong đó:

q_s : Công suất thoát (thấm) của công trình thấm, l/(s.ha);

k_i : Tốc độ thấm, m/s;

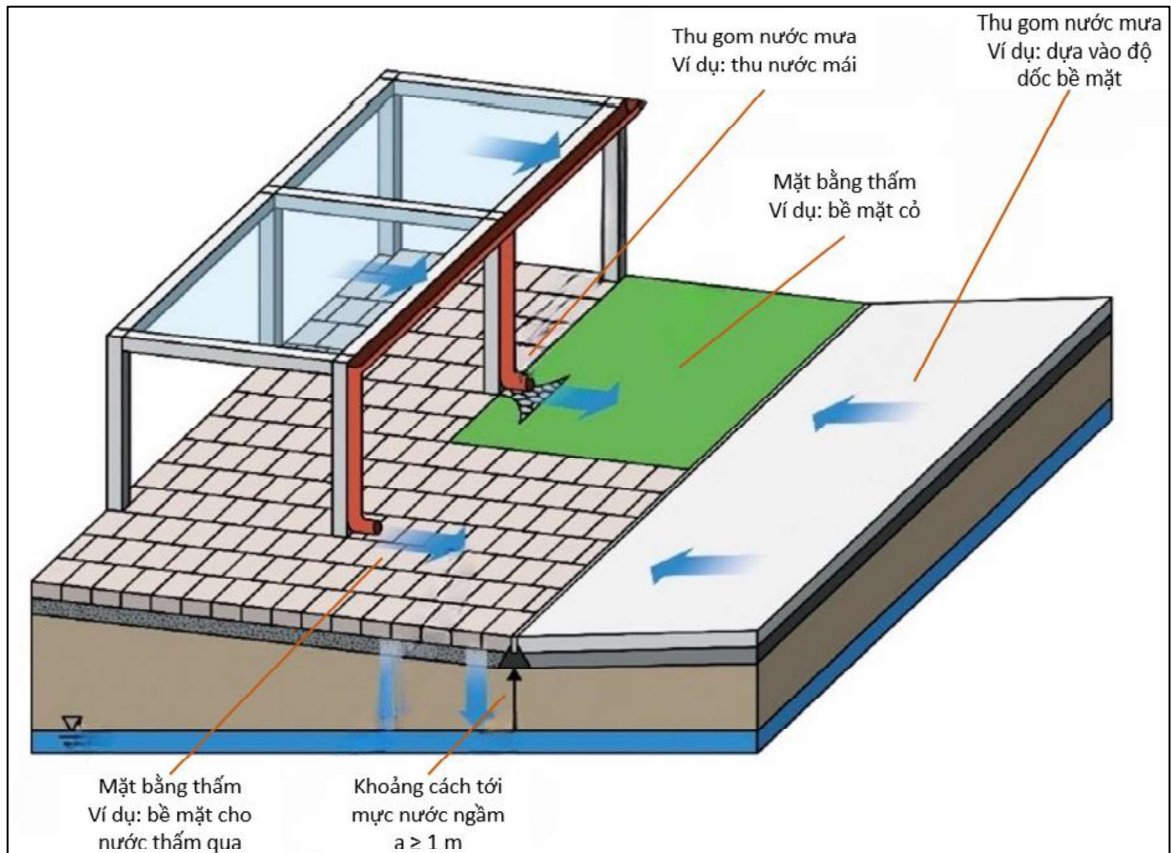
A_s : Diện tích thấm cần thiết, m²;

Q_{Dr} : Lưu lượng điều tiết thoát ra khỏi công trình thấm (áp dụng trong trường hợp công trình thấm có hệ thống điều tiết thoát nước), m³/s;

A_{Bem} : Tổng diện tích lưu vực thoát nước tính toán đổ về công trình thấm (đã tính đến hệ số dòng chảy), m².

Thấm qua bề mặt (Surface infiltration)

Nước mưa được thấm trực tiếp qua bề mặt thấm mà không cần lưu trữ. Bề mặt phủ cần được thiết kế sao cho nước có thể thấm qua nhanh. Có thể ứng dụng cho các bãi đỗ xe, vỉa hè ...



Hình 4.29. Thấm qua bề mặt

Công thức tính toán:

$$(A_{Bem} + A_s) \cdot r_{D(n)} \cdot 10^{-7} = A_s \cdot k_i$$

Diện tích thấm nước cần thiết được tính như sau:

$$A_S = \frac{A_{Bem}}{\frac{k_i \cdot 10^7}{r_{D(n)}} - 1}$$

Trong đó:

A_S m² diện tích thấm cần thiết

A_{Bem} m² tổng diện tích lưu vực thoát nước tính toán đổ về công trình thấm (đã tính đến hệ số dòng chảy)

k_i m/s tốc độ thấm

$r_{D(n)}$ l/(s.ha) lượng mưa đơn vị trong thời gian D và tần suất xuất hiện n năm

Điều kiện biên:

$$k_i > r_{D(n)} \cdot 10^{-7}$$

Khi không thỏa mãn điều kiện biên tức là cường độ mưa vượt quá khả năng thấm nước của công trình. Khi đó cần có thêm biện pháp thoát nước đi kèm ví dụ kết nối một phần vào mạng lưới thoát nước.

Đối với dạng công trình thấm này nên chọn thời gian mưa tính toán là 10 phút. Tại những vị trí có thể tận dụng được nhiều diện tích hơn thì có thể chọn thời gian mưa tính toán là 15 phút.

Ví dụ tính toán:

Tính toán thoát nước mái cho tòa nhà đỗ xe có diện tích mái 300 m². Có thể tận dụng khoảng sân trước tòa nhà để làm vị trí thấm nước. Hệ số dòng chảy bề mặt là 0,95 và $r_{10(0,2)} = 204,6$ l/(s.ha). Hệ số thấm của diện tích thấm là $k_i = 1 \cdot 10^{-4}$ m/s. Tính toán diện tích thấm cần thiết?

Diện tích thoát nước tính toán được tính như sau:

$$A_{Bem} = 300 \cdot 0,95 = 285 \text{ m}^2$$

Diện tích thấm nước cần thiết được tính như sau:

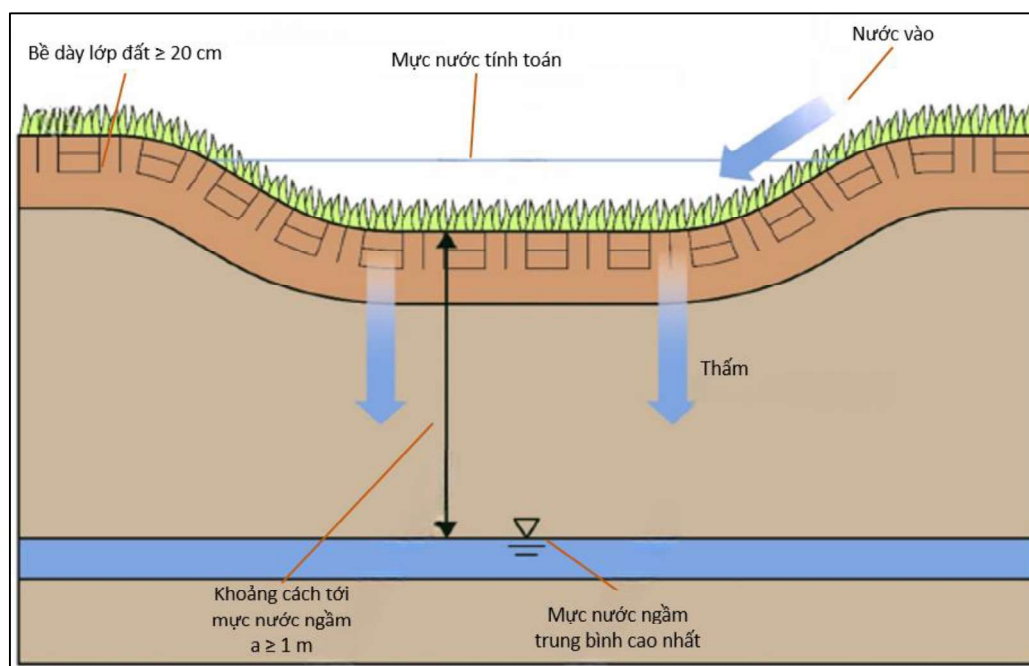
$$A_S = \frac{A_{Bem}}{\frac{k_i \cdot 10^7}{r_{D(n)}} - 1} = \frac{285}{\frac{1 \cdot 10^{-4} \cdot 10^7}{204,6} - 1} = 73 \text{ m}^2$$

Kiểm tra điều kiện biên:

$$q_s = \frac{k_i \cdot A_S + Q_{Dr}}{A_{Bem}} \cdot 10^7 = \frac{1 \cdot 10^{-4} \cdot 73 + 0}{285} \cdot 10^7 = 256 \geq 2 \text{ l/(s.ha)}$$

Bãi thấm

Đây là công trình thấm thoát nước phân tán với khả năng lưu trữ nước ngắn hạn. Mục nước lưu trữ theo nguyên tắc nên được lấy tối đa là 30 cm.



Hình 4.30. Bãi thấm

Thể tích lưu cần thiết của bãi thấm:

$$V_M = [(A_{Bem} + A_M) \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)} - A_{S,m} \cdot k_i] \cdot D \cdot 60 \cdot f_z$$

Trong đó:

V_M m³ Thể tích lưu cần thiết

A_{Bem} m² tổng diện tích lưu vực thoát nước tính toán đổ về công trình thấm (đã tính đến hệ số dòng chảy)

A_M m² tổng diện tích bãi thấm;

$r_{D(n)}$ l/(s.ha) lượng mưa đơn vị trong thời gian D và tần suất xuất hiện n năm

$A_{S,m}$ m² diện tích trung bình bãi thấm

k_i m/s tốc độ thấm

D phút thời gian mưa tính toán

f_z [-] hệ số an toàn (thường lấy bằng 1,2).

Tính toán gần đúng có thể chọn $A_M = A_{S,m}$

Ngoài ra có thể tính gần đúng $A_{S,m}$ dựa vào cấu trúc đất:

Bảng 4.1: Diện tích thấm sơ bộ dựa vào nền đất

Loại đất	$A_{S,m}$
----------	-----------

Cát thô	0,1. A_{Bem}
Cát mịn	0,2. A_{Bem}

Thể tích chứa cần thiết có thể được tính theo mực nước lưu trữ:

$$V_M = A_{S,m} \cdot h_M$$

Trong đó:

V_M m³ Thể tích lưu cần thiết;

$A_{S,m}$ m² diện tích trung bình của bãi thấm;

h_M m mực nước lưu trữ tối đa;

Từ 2 phương trình trên ta có thể tính diện tích trung bình của bãi thấm:

$$A_{S,m} = \frac{A_{Bem} \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)}}{\frac{h_M}{D \cdot 60 \cdot f_Z} - 10^{-7} \cdot r_{D(n)} + k_i}$$

Ví dụ tính toán:

Tính toán thiết kế bãi thấm cho 1 nhà xưởng có diện tích 4000 m². Hệ số dòng chảy được lấy bằng 1. Hệ số thấm $k_i = 1.10^{-5}$ m/s. Tính toán với thời gian mưa 30 phút với cơn mưa 5 năm 1 lần ($r_{30(0,2)} = 92,6$ l/(s.ha). Giả sử đất nền là loại cát mịn. Hệ số an toàn $f_Z = 1,2$.

Có 2 cách tính:

Cách thứ nhất:

Theo bảng 1 ở trên, ta có thể lựa chọn sơ bộ diện tích của bãi thấm ($= 0,2. A_{Bem}$). Vì hệ số dòng chảy bằng 1 nên $A_{Bem} = 4000$ m². Do đó $A_M = A_{S,m} = 0,2 \cdot 4000 = 800$ m².

Thể tích cần thiết của bãi thấm là:

$$\begin{aligned} V_M &= [(A_{Bem} + A_M) \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)} - A_{S,m} \cdot k_i] \cdot D \cdot 60 \cdot f_Z \\ &= [(4000 + 800) \cdot 10^{-7} \cdot 92,6 - 800 \cdot 10^{-5}] \cdot 30 \cdot 60 \cdot 1,2 = 80 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Với diện tích thấm là 800 m², ta có chiều cao lưu nước là:

$$h_M = 80/800 = 0,1 \text{ m.}$$

Cách tính thứ hai:

Lựa chọn mực nước lưu tối đa của bãi thấm $h_M = 0,3$ m

Diện tích thấm được tính như sau:

$$A_{S,m} = \frac{A_{Bem} \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)}}{\frac{h_M}{D \cdot 60 \cdot f_Z} - 10^{-7} \cdot r_{D(n)} + k_i} = \frac{4000 \cdot 10^{-7} \cdot 92,6}{\frac{0,3}{30 \cdot 60 \cdot 1,2} - 10^{-7} \cdot 92,6 + 10^{-5}} = 265 \text{ m}^2$$

Thể tích cần thiết của bãi thấm lúc này là: $V_M = 265 \cdot 0,3 = 80 \text{ m}^3$

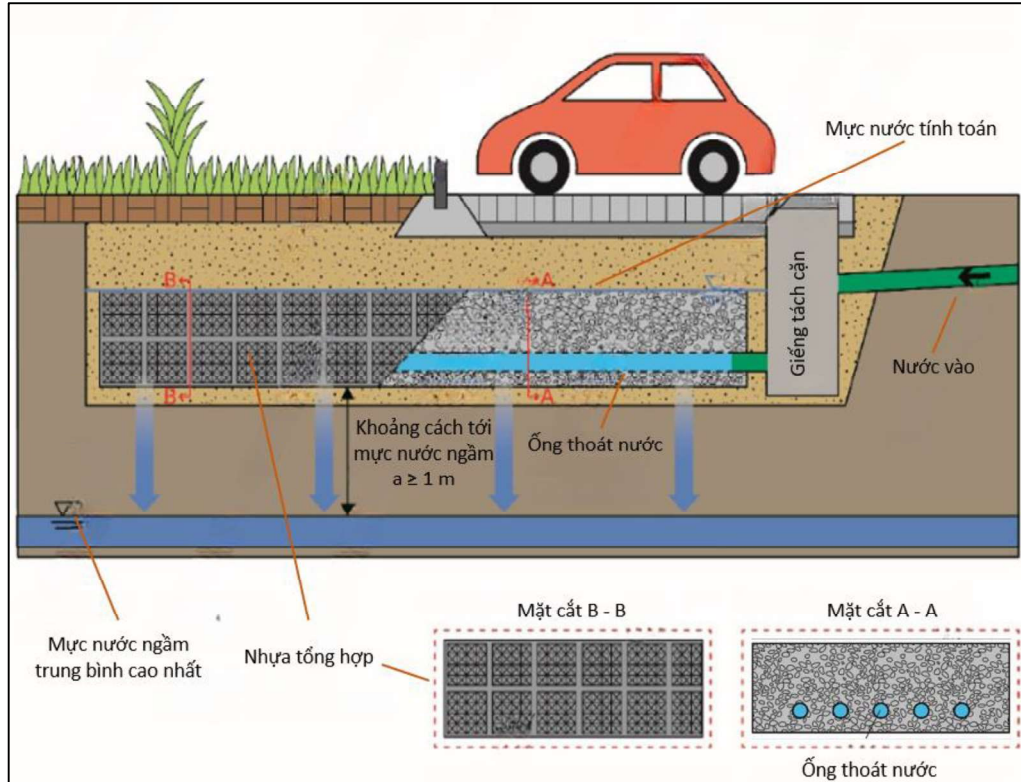
Những nơi không có nhiều diện tích để xây dựng bãi thấm, ta có thể sử dụng phương pháp thứ 2 để tính toán.

Hào ngầm

Công trình này được sử dụng khi diện tích thấm không đủ lớn để xây dựng rãnh thấm.

Công trình này thường được sản xuất sẵn với vật liệu là nhựa tổng hợp.

Theo công thức tính đơn giản, có thể giả định mực nước trung bình trong công trình thấm là $\frac{h_R}{2}$



Hình 4.31. Hào chứa nước ngầm

Diện tích thoát nước được tính là diện tích ướt của công trình:

$$A_{S,R} = \left(b_R + 2 \cdot \frac{h_R}{2} \right) \cdot L_R + \left(b_R \cdot \frac{h_R}{2} \right) \cdot 2 = (b_R + h_R) \cdot L_R + b_R \cdot h_R$$

Trong đó:

$A_{S,R}$ m² diện tích ướt của hào ngầm b_R

b_R m chiều rộng của hào ngầm

h_R m chiều cao của hào ngầm

L_R m chiều dài của hào ngầm

Lưu lượng thấm của hào ngầm sẽ được tính như sau:

$$Q_{S,R} = [(b_R + h_R) \cdot L_R + b_R \cdot h_R] \cdot k_i$$

Trong đó:

k_i m/s tốc độ thấm

Trên thực tế, công trình hào chứa nước ngầm có thể được thiết kế thêm ống thoát nước điều tiết trong trường hợp khả năng thấm của công trình không cao và thấp hơn so với lưu lượng chảy vào công trình. Đối với công trình không có ống thoát nước điều tiết, ta có thể coi $Q_{Dr} = 0$ (l/s).

Thể tích lưu trữ cần thiết của công trình này được tính như sau [1]:

$$V_R = [A_{Bem} \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)} - [(b_R + h_R) \cdot L_R + b_R \cdot h_R] \cdot k_i - Q_{Dr} \cdot 10^{-3}] \cdot D \cdot 60 \cdot f_Z$$

Trong đó:

V_R m³ Thể tích lưu cần thiết

A_{Bem} m² tổng diện tích lưu vực thoát nước tính toán đổ về công trình thấm (đã tính đến hệ số dòng chảy).

$r_{D(n)}$ l/(s.ha) lượng mưa đơn vị trong thời gian D và tần suất xuất hiện n năm.

Q_{Dr} l/s Lưu lượng điều tiết thoát ra khỏi công trình thấm (áp dụng trong trường hợp công trình thấm có hệ thống điều tiết thoát nước).

D phút thời gian mưa tính toán.

f_Z [-] hệ số an toàn (thường lấy bằng 1,2).

Ngoài ra nếu coi hào ngầm là các hình khối thì thể tích lưu trữ của hào ngầm có thể được tính theo công thức sau:

$$V_R = b_R \cdot h_R \cdot L_R \cdot S_R$$

Trong đó:

S_R [-] hệ số lưu trữ của hào ngầm (hệ số này được cung cấp bởi nhà sản xuất, thường từ 0.3 đến 0.95).

Từ đó có thể tính ra chiều dài cần thiết của hào ngầm:

$$L_R = \frac{A_{Bem} \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)} - (b_R \cdot h_R) \cdot k_i - Q_{Dr} \cdot 10^{-3}}{\frac{b_R \cdot h_R \cdot S_R}{D \cdot 60 \cdot f_Z} + (b_R + h_R) \cdot k_i}$$

Ví dụ tính toán:

Tính toán thiết kế hào ngầm thoát nước mưa cho 1 bãi đỗ xe. Với các thông số đầu vào như sau:

$$A_{Bem} = 2000 \text{ m}^2$$

$$k_i = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

$r_{D(n)} = 69,2 \text{ l/(s.ha)}$ ($D = 45$ phút với trận mưa có tần suất 5 năm lặp lại 1 lần) (Giá trị này thay đổi theo từng khu vực tính toán).

$$b_R = 2,5 \text{ m}$$

$$h_R = 1 \text{ m}$$

$$S_R = 0,35$$

$$f_Z = 1,2$$

$$Q_{Dr} = 0 \text{ l/s}$$

Chiều dài cần thiết của hào ngầm được tính như sau:

$$L_R = \frac{A_{Bem} \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)} - (b_R \cdot h_R) \cdot k_i - Q_{Dr} \cdot 10^{-3}}{\frac{b_R \cdot h_R \cdot S_R}{D \cdot 60 \cdot f_Z} + (b_R + h_R) \cdot k_i}$$

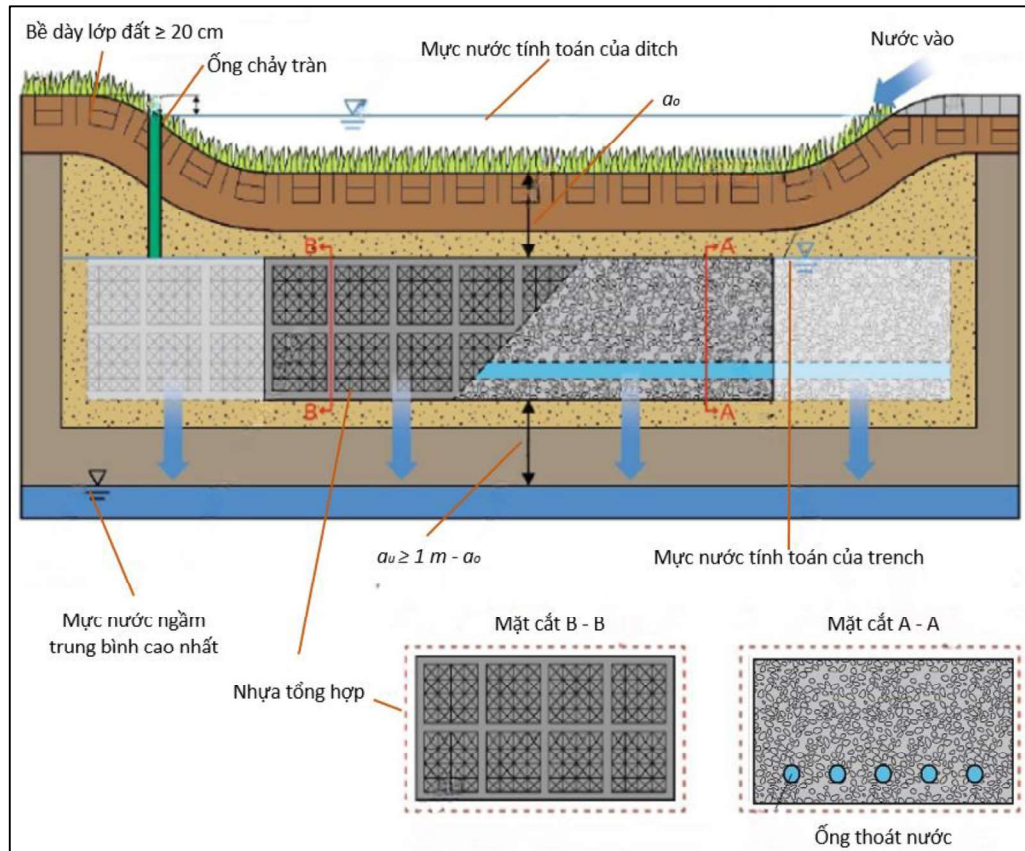
$$L_R = \frac{2000 \cdot 10^{-7} \cdot 69,2 - (2,5 \cdot 1) \cdot 5 \cdot 10^{-5} - 0}{\frac{2,5 \cdot 1 \cdot 0,35}{45 \cdot 60 \cdot 1,2} + (2,5 + 1) \cdot 5 \cdot 10^{-5}} = 30,8 \text{ m}$$

Thể tích chứa nước của hào ngầm:

$$V_R = b_R \cdot h_R \cdot L_R \cdot S_R = 2,5 \cdot 1 \cdot 30,8 \cdot 0,35 = 26,95 \text{ m}^3$$

Bãi thấm kết hợp hào chứa nước ngầm

Đây là một hệ thống kết hợp với phía trên là bãi thấm và ở dưới là hào ngầm. Trong trường hợp bãi thấm quá tải, nước mưa có thể được dẫn xuống hào ngầm thông qua 1 ống thoát. Lớp đất nằm giữa bãi thấm và hào ngầm nên có hệ số thấm $k_i \geq 1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$.



Hình 4.32. Bãi thấm kết hợp hào thoát nước ngầm

Thể tích của công trình này chính là tổng thể tích của bãi thấm và hào ngầm.

$$V_{MR} = V_M + V_R$$

Trong đó:

V_{MR} m³ Thể tích lưu cần thiết của hệ thống bãi thấm + hào ngầm;

V_M m³ Thể tích lưu cần thiết của bãi thấm;

V_R m³ Thể tích lưu cần thiết của hào ngầm.

Công trình này được tính toán làm 2 bước. Bước đầu tiên là xác định thể tích cần thiết của bãi thấm.

V_M được tính như theo công thức ở mục 2. Trộn mưa tính toán cho V_M được chọn lớn hơn trận mưa tính toán cho hệ thống hào ngầm.

V_{MR} có thể được tính từ phương trình ở mục trên, ngoài ra ta có thể chọn các hệ thống hào ngầm sản xuất sẵn, với kích thước đã xác định. Tổng thể tích lưu trữ có thể được tính như sau:

$$V_{MR} = [(A_{Bem} + A_M) \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)} - (b_R + h_R) \cdot L_R \cdot k_i] \cdot D \cdot 60 \cdot f_Z$$

Bước thứ 2 là tính toán chiều dài của hào ngầm:

$$L_R = \frac{(A_{Bem} + A_M) \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)} - \frac{V_M}{D \cdot 60 \cdot f_Z}}{\frac{b_R \cdot h_R \cdot S_R}{D \cdot 60 \cdot f_Z} + (b_R + h_R) \cdot k_i}$$

Trong đó:

L_R m chiều dài của hào ngấm;

A_{Bem} m² tổng diện tích lưu vực thoát nước tính toán đổ về công trình thấm (đã tính đến hệ số dòng chảy);

A_M m² tổng diện tích bãi thấm;

$r_{D(n)}$ l/(s.ha) lượng mưa đơn vị trong thời gian D và tần suất xuất hiện n năm;

V_M m³ Thể tích lưu cần thiết của bãi thấm;

f_Z [-] hệ số an toàn (thường lấy bằng 1,2);

b_R m chiều rộng của hào ngấm;

h_R m chiều cao của hào ngấm.

S_R [-] hệ số lưu trữ của hào ngấm (hệ số này được cung cấp bởi nhà sản xuất, thường từ 0.3 đến 0.95);

k_i m/s tốc độ thấm;

D phút thời gian mưa tính toán.

Ví dụ tính toán:

Tính toán thiết kế hệ thống bãi thấm – hào ngấm để thoát nước mưa cho nhà xưởng có thông số như sau:

$$A_{Bem} = 4000 \text{ m}^2$$

$$k_i = 10^{-5} \text{ m/s}$$

$r_{D(n)} = 92,6 \text{ l/(s.ha)}$ (D = 30 phút với cơn mưa tần suất lặp lại 5 năm 1 lần – giá trị này thay đổi theo từng khu vực tính toán)

$$b_R = 2,5 \text{ m}$$

$$h_R = 1 \text{ m}$$

$$S_R = 0,35$$

$$f_Z = 1,2$$

$$Q_{Dr} = 0 \text{ l/s}$$

Lựa chọn mực nước lưu tối đa của bãi thấm $h_M = 0,3 \text{ m}$

Diện tích thấm được tính như sau:

$$A_{S,m} = \frac{A_{Bem} \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)}}{\frac{h_M}{D \cdot 60 \cdot f_Z} - 10^{-7} \cdot r_{D(n)} + k_i} = \frac{4000 \cdot 10^{-7} \cdot 92,6}{\frac{0,3}{30 \cdot 60 \cdot 1,2} - 10^{-7} \cdot 92,6 + 10^{-5}} = 265 \text{ m}^2$$

Thể tích cần thiết của bãi thấm lúc này là: $V_M = 265 \cdot 0,3 = 80 \text{ m}^3$

Vì hệ thống này có thêm hào ngằm nên ta có thể chọn thể tích bãi thấm nhỏ hơn thể tích tính toán ở trên. Ví dụ ta chọn $V_M = 45 \text{ m}^3$. Với mực nước lưu tối đa 0,3 m ta có $A_{S,m} = 150 \text{ m}^2$.

Chiều dài của hào ngằm được tính như sau:

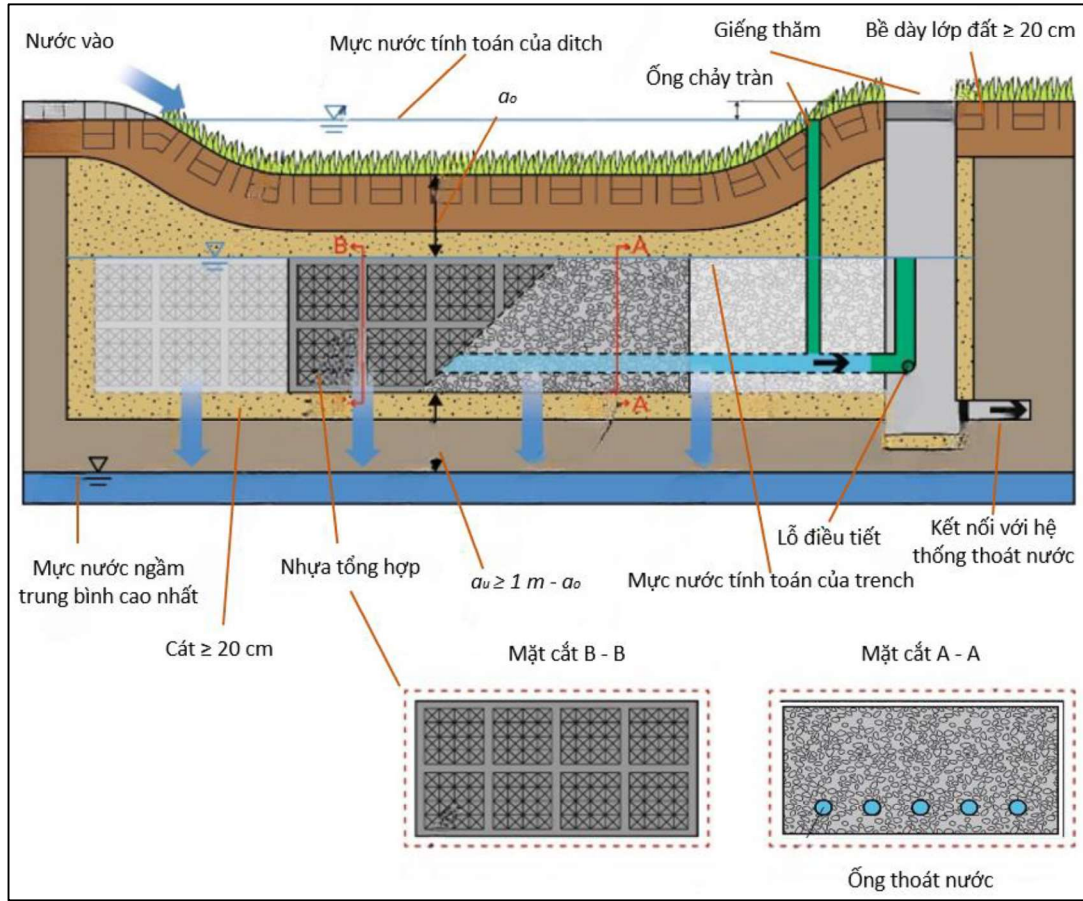
$$L_R = \frac{(A_{Bem} + A_M) \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)} - \frac{V_M}{D \cdot 60 \cdot f_Z}}{\frac{b_R \cdot h_R \cdot s_R}{D \cdot 60 \cdot f_Z} + (b_R + h_R) \cdot k_i}$$

$$L_R = \frac{(4000 + 150) \cdot 10^{-7} \cdot 92,6 - \frac{45}{30 \cdot 60 \cdot 1,2}}{\frac{2,5 \cdot 1 \cdot 0,35}{30 \cdot 60 \cdot 1,2} + (2,5 + 1) \cdot 10^{-5}} = 40 \text{ m}$$

Diện tích của hào ngằm là: $40 \cdot 2,5 = 100 \text{ m}^2 < A_{S,m} = 150 \text{ m}^2$

Hệ thống bãi thấm – hào ngằm – cống thoát nước

Hệ thống bãi thấm – hào ngằm – cống thoát nước cũng là một hệ thống bãi thấm – hào ngằm nhưng được kết nối thêm với một giếng thấm và cống thoát nước điều tiết. Đối với những nơi có hệ số thấm $k_f < 1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ cần thiết phải có thêm cống thoát nước điều tiết này.



Hình 4.33. Hệ thống bãi thấm – hào ngấm – cống thoát nước

Công thức tính toán hệ thống này giống như phần trên.

Chiều dài cần thiết của hào ngấm được tính toán như sau:

$$L_R = \frac{(A_{Bem} + A_M) \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)} - \frac{V_M}{D \cdot 60 \cdot f_z} - Q_{Dr} \cdot 10^{-3}}{\frac{b_R \cdot h_R \cdot s_R}{D \cdot 60 \cdot f_z} + (b_R + h_R) \cdot k_i}$$

Trong đó:

L_R m chiều dài của hào ngấm;

A_{Bem} m² tổng diện tích lưu vực thoát nước tính toán đổ về công trình thấm (đã tính đến hệ số dòng chảy);

A_M m² tổng diện tích bãi thấm;

$r_{D(n)}$ l/(s.ha) lượng mưa đơn vị trong thời gian D và tần suất xuất hiện n năm;

V_M m³ Thể tích lưu cần thiết của bãi thấm;

f_z [-] hệ số an toàn (thường lấy bằng 1,2)

b_R m chiều rộng của hào ngấm;

h_R m chiều cao của hào ngầm;

S_R [-] hệ số lưu trữ của hào ngầm (hệ số này được cung cấp bởi nhà sản xuất, thường từ 0.3 đến 0.95)

k_i m/s tốc độ thấm

D phút thời gian mưa tính toán

Q_{Dr} l/s Lưu lượng điều tiết thoát ra khỏi công trình thấm

Ví dụ tính toán:

Tính toán thiết kế hệ thống bãi thấm - hào ngầm – công thoát để thoát nước mưa cho nhà xưởng có thông số như sau:

$$A_{Bem} = 4000 \text{ m}^2$$

$$k_i = 10^{-5} \text{ m/s (hệ số thấm của bãi thấm)}$$

$$k_i = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m/s (hệ số thấm của hào ngầm)}$$

$r_{D(n)} = 92,6 \text{ l/(s.ha)}$ ($D = 30$ phút với cơn mưa 5 năm 1 lần – giá trị này thay đổi theo từng khu vực tính toán)

$$b_R = 2,5 \text{ m}$$

$$h_R = 1 \text{ m}$$

$$S_R = 0,35$$

$$f_Z = 1,2$$

$$Q_{Dr} = 3 \text{ l/s}$$

Trong ví dụ này, hệ số thấm của hào ngầm chỉ là $5 \cdot 10^{-7} \text{ m/s} < 10^{-6}$, do đó công trình cần phải có thêm hệ thống xả điều tiết. Trong ví dụ này ta chọn lưu lượng xả điều tiết là 3 l/s.

Lựa chọn mực nước lưu tối đa của bãi thấm $h_M = 0,3 \text{ m}$

Diện tích thấm được tính như sau:

$$A_{S,m} = \frac{A_{Bem} \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)}}{\frac{h_M}{D \cdot 60 \cdot f_Z} - 10^{-7} \cdot r_{D(n)} + k_i} = \frac{4000 \cdot 10^{-7} \cdot 92,6}{\frac{0,3}{30 \cdot 60 \cdot 1,2} - 10^{-7} \cdot 92,6 + 10^{-5}} = 265 \text{ m}^2$$

Thể tích cần thiết của bãi thấm lúc này là: $V_M = 265,0,3 = 80 \text{ m}^3$

Vì hệ thống này có thêm hào ngầm nên ta có thể chọn thể tích bãi thấm nhỏ hơn thể tích tính toán ở trên. Ví dụ ta chọn $V_M = 45 \text{ m}^3$. Với mực nước lưu tối đa 0,3 m ta có $A_{S,m} = 150 \text{ m}^2$

Chiều dài của hào ngầm được tính như sau:

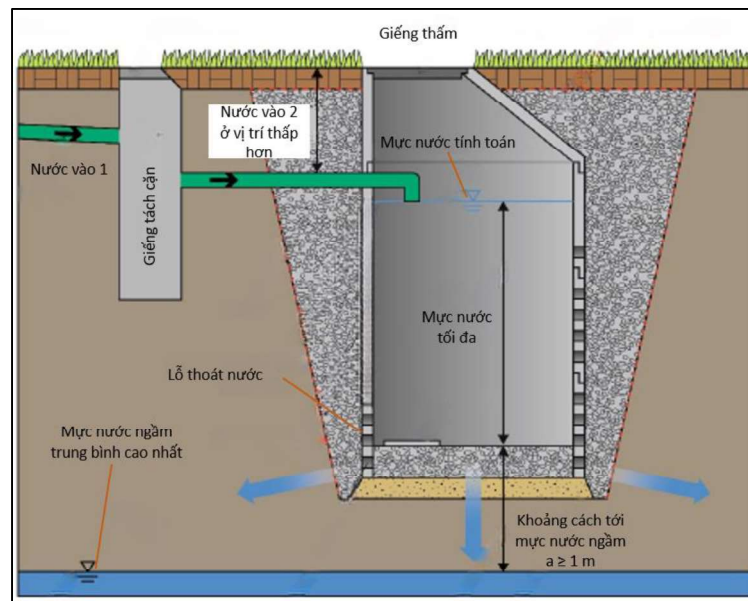
$$L_R = \frac{(A_{Bem} + A_M) \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)} - \frac{V_M}{D \cdot 60 \cdot f_Z} - Q_{Dr} \cdot 10^{-3}}{\frac{b_R \cdot h_R \cdot S_R}{D \cdot 60 \cdot f_Z} + (b_R + h_R) \cdot k_i}$$

$$L_R = \frac{(4000 + 100) \cdot 10^{-7} \cdot 92,6 - \frac{45}{30 \cdot 60 \cdot 1,2} - 3 \cdot 10^{-3}}{\frac{2,5 \cdot 1 \cdot 0,35}{30 \cdot 60 \cdot 1,2} + (2,5 + 1) \cdot 5 \cdot 10^{-7}} = 35 \text{ m}$$

Giếng thấm

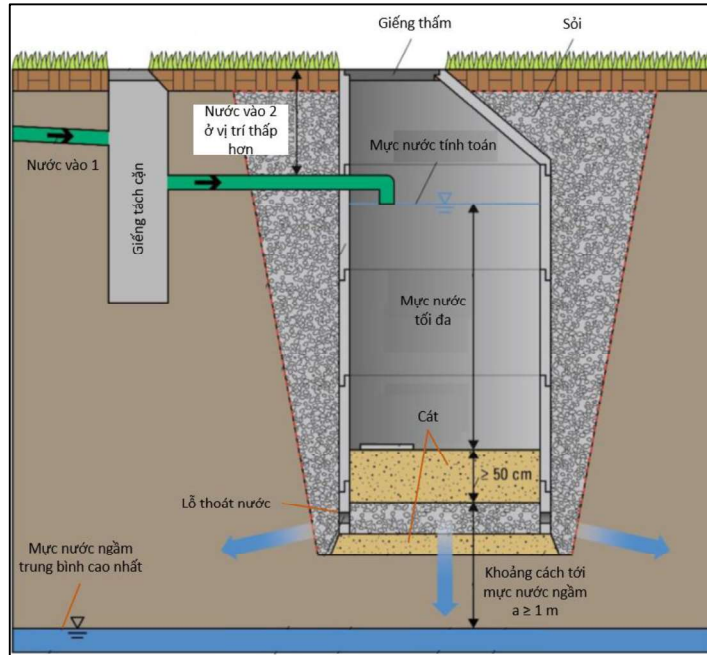
Giếng thấm là công trình lưu trữ nước mưa phân tán có chức năng làm chậm dòng chảy bề mặt và thấm nước xuống đất. Trên thực tế, công trình này thường là một khối bê tông đúc sẵn có đường kính tối thiểu 1 m.

Công trình này được phân làm 2 loại:



Hình 4.34. Giếng thấm loại A

Loại A: cho phép nước thấm qua thành và đáy giếng.



Hình 4.35. Giếng thấm loại B

Loại B: chỉ cho nước thấm qua đáy giếng, đồng thời có thêm lớp lọc ở đáy giếng thấm. Lớp lọc này thường là cát có kích thước hạt $\leq 4 \text{ mm}$ và hệ số thấm của lớp này phải $\leq 1.10^{-3} \text{ m/s}$.

Khoảng cách giữa đáy giếng và mức nước ngầm trung bình cao nhất phải đảm bảo ít nhất là 1 m.

Diện tích thấm của giếng thấm với tiết diện tròn được tính như sau:

$$A_S = \pi \cdot \frac{d_a^2}{4} + \pi \cdot d_a \cdot \frac{h_S}{2}$$

Trong đó:

A_S m² diện tích thấm của giếng thấm;

d_a m đường kính ngoài của giếng thấm;

h_S m mức nước tối đa trong giếng thấm.

Theo công thức chung tính toán thể tích lưu trữ ta có thể tính thể tích cần thiết của giếng thấm như sau:

$$V_S = (A_{Bem} \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)} - A_S \cdot k_i) \cdot D \cdot 60 \cdot f_Z$$

Trong đó:

V_S m³ Thể tích lưu cần thiết của giếng thấm;

A_{Bem} m² tổng diện tích lưu vực thoát nước tính toán đổ về công trình thấm (đã tính đến hệ số dòng chảy);

A_S m² diện tích giếng thấm tính theo công thức ở trên;

$r_{D(n)}$ l/(s.ha) lượng mưa đơn vị trong thời gian D và tần suất xuất hiện n năm

k_i m/s tốc độ thấm;

D phút thời gian mưa tính toán;

f_z [-] hệ số an toàn (thường lấy bằng 1,2);

Thể tích lưu trữ cũng có thể được tính với phương trình sau:

$$V_S = \pi \cdot \frac{d_i^2}{4} \cdot h_S$$

Trong đó:

d_i m đường kính trong của giếng thấm;

h_S m mực nước tối đa trong giếng thấm;

Mực nước tối đa trong giếng thấm được tính với phương trình sau:

$$h_S = \frac{\left(A_{Bem} \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)} - \frac{\pi \cdot d_a^2}{4} \cdot k_i \right)}{\frac{\pi \cdot d_i^2}{4 \cdot D \cdot 60 \cdot f_z} + \frac{d_a \cdot \pi \cdot k_i}{2}}$$

Đối với giếng thấm loại B cần phải thỏa mãn thêm điều kiện biên:

$$A_{S,lọc} \cdot k_{f,lọc} \geq A_{S,giếng} \cdot k_i$$

$A_{S,lọc}$ là diện tích hình tròn với đường kính d_i . Kết hợp với phương trình tính $A_{S,giếng}$ ở trên ta có thể tính được tốc độ lọc tối thiểu của lớp lọc như sau:

$$erf \cdot k_{f,lọc} \geq \frac{d_a^2 + 2 \cdot h_S \cdot d_a}{d_i^2} \cdot k_i$$

Chú ý cần đảm bảo: $erf \cdot k_{f,lọc} \leq 1.10^{-3}$ m/s.

Đối với giếng thấm loại B, nếu khả năng thấm của đất lớn hơn 1.10^{-3} m/s và lớn hơn khả năng thấm của lớp lọc thì công thức tính toán mực nước tối đa trong giếng thấm loại B được tính như sau:

$$h_S = \left(A_{Bem} \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)} - \frac{\pi \cdot d_i^2}{4} \cdot k_{f,lọc} \right) \cdot \frac{4 \cdot D \cdot 60 \cdot f_z}{d_i^2 \cdot \pi}$$

Trong đó:

h_S m mực nước tối đa trong giếng thấm;

A_{Bem} m² tổng diện tích lưu vực thoát nước tính toán đổ về công trình thấm (đã tính đến hệ số dòng chảy);

$k_{f,lọc}$ m/s tốc độ thấm của lớp lọc;

d_i m đường kính trong của giếng thấm;

D phút thời gian mưa tính toán;

f_z [-] hệ số an toàn (thường lấy bằng 1,2)

Ví dụ tính toán:

Tính toán thiết kế giếng thấm cho sân đỗ xe có các thông số như sau:

$$A_{Bem} = 100 \text{ m}^2$$

$$k_i = 10^{-4} \text{ m/s}$$

$r_{D(n)} = 92,6 \text{ l/(s.ha)}$ ($D = 30$ phút với cơn mưa 5 năm 1 lần – giá trị này thay đổi theo từng khu vực tính toán)

$$f_z = 1,2$$

Lựa chọn giếng thấm bê tông đúc sẵn có kích thước như sau:

$$d_i = 1 \text{ m}$$

$$d_a = 1,2 \text{ m}$$

Mức nước tối đa trong giếng thấm được tính với phương trình sau:

$$h_s = \frac{\left(A_{Bem} \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)} - \frac{\pi \cdot d_a^2}{4} \cdot k_i \right)}{\frac{\pi \cdot d_i^2}{4 \cdot D \cdot 60 \cdot f_z} + \frac{d_a \cdot \pi \cdot k_i}{2}}$$

$$h_s = \frac{\left(100 \cdot 10^{-7} \cdot 92,6 - \frac{\pi \cdot 1,2^2}{4} \cdot 10^{-4} \right)}{\frac{\pi \cdot 1^2}{4 \cdot 30 \cdot 60 \cdot 1,2} + \frac{1,2 \cdot \pi \cdot 10^{-4}}{2}} = 1,5 \text{ m}$$

Đối với giếng loại B cần kiểm tra thêm điều kiện biên:

$$erf \cdot k_{f,loc} \geq \frac{d_a^2 + 2 \cdot h_s \cdot d_a}{d_i^2} \cdot k_i$$

Chọn:

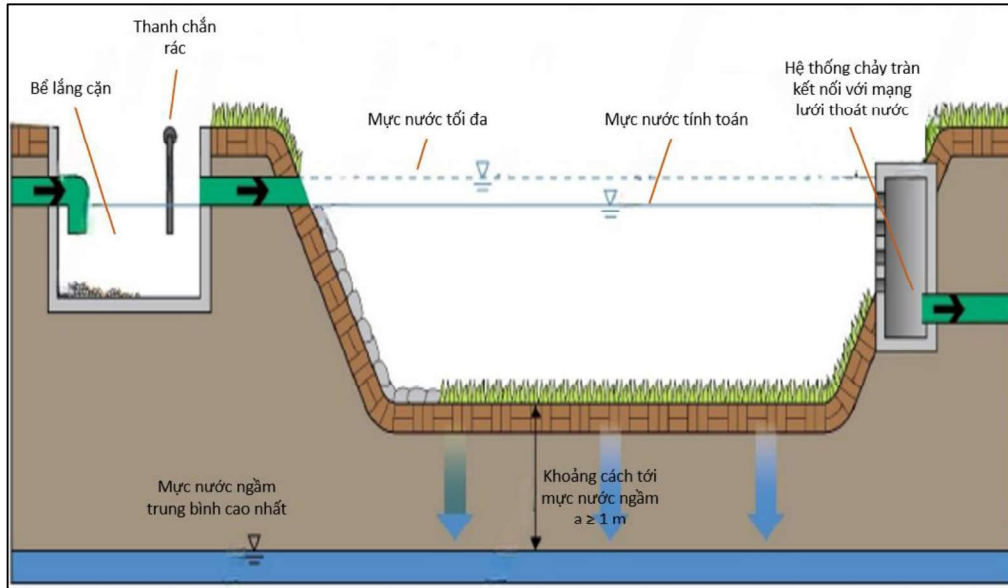
$$erf \cdot k_{f,loc} = \frac{d_a^2 + 2 \cdot h_s \cdot d_a}{d_i^2} \cdot k_i$$

$$erf \cdot k_{f,loc} = \frac{1,2^2 + 2 \cdot 1,5 \cdot 1,2}{1^2} \cdot 10^{-4} = 5,04 \cdot 10^{-4} < 1 \cdot 10^{-3}$$

Thỏa mãn điều kiện biên cho giếng thấm loại B.

Bể thấm nước mưa

Bể thấm hay ao thấm là công trình thấm nước tập trung tạm thời. Nước mưa của lưu vực thoát nước sẽ được thu gom bởi hệ thống thoát nước, sau đó được đưa về bể thấm. Bể thấm có tác dụng giữ nước tạm thời, cho nước thấm xuống đất và có thể chảy tràn vào hệ thống thoát nước. Có thể kết hợp bể lắng cặn trước công trình bể thấm để giữ lại cặn bẩn trong nước bề mặt.



Hình 4.36. Bể thấm nước mưa

Đối với công trình này tỉ lệ $A_{Bem} / A_{S,m}$ thường lớn hơn 15. Hệ số thấm của công trình này nên được lấy hơn 10^{-5} m/s. Trong trường hợp khả năng thấm của công trình không đảm bảo thì công trình nên có thêm hệ thống chảy tràn giúp bể tránh bị quá tải. Thông thường chiều cao chảy tràn của bể $\geq 0,5$ m.

Thể tích chứa nước của công trình được tính toán như sau:

$$V_B = [(A_{Bem} + A_B) \cdot 10^{-7} \cdot r_{D[n]} - A_{S,m} \cdot k_i - Q_{Dr} \cdot 10^{-3}] \cdot D \cdot 60 \cdot f_z$$

Trong đó:

V_B m³ Thể tích lưu cần thiết của bể thấm;

A_{Bem} m² tổng diện tích lưu vực thoát nước tính toán đổ về công trình thấm (đã tính đến hệ số dòng chảy);

A_B m² tổng diện tích tạo nên dòng chảy của bể thấm khi có mưa (nếu các cạnh của bể thẳng đứng thì $A_B = A_{S,m}$);

$r_{D(n)}$ l/(s.ha) lượng mưa đơn vị trong thời gian D và tần suất xuất hiện n năm;

$A_{S,m}$ m² diện tích trung bình của bể;

k_i m/s tốc độ thấm;

Q_{Dr} l/s Lưu lượng điều tiết thoát ra khỏi công trình thấm;

D phút thời gian mưa tính toán;

f_z [-] hệ số an toàn (thường lấy bằng 1,2);

Ví dụ tính toán:

Tính toán thiết kế bể thấm cho khu dân cư với các thông số như sau:

$$A_{Bem} = 5 \text{ ha} = 50000 \text{ m}^2$$

$$k_i = 10^{-4} \text{ m/s}$$

$r_{D(n)} = 92,6 \text{ l/(s.ha)}$ ($D = 30$ phút với cơn mưa 5 năm 1 lần – giá trị này thay đổi theo từng khu vực tính toán)

$$f_z = 1,2$$

$$Q_{Dr} = 3 \text{ l/s}$$

Chọn chiều cao mực nước tính toán trong bể thấm là 2,5 m và bể hình khối chữ nhật. Ta có:

$$V_B = [(A_{Bem} + A_B) \cdot 10^{-7} \cdot r_{D[n]} - A_{S,m} \cdot k_i - Q_{Dr} \cdot 10^{-3}] \cdot D \cdot 60 \cdot f_z$$

$$V_B = 2,5 \cdot A_{S,m}$$

$$A_B = A_{S,m}$$

$$V_B = 2,5 \cdot A_{S,m} = [(50000 + A_{S,m}) \cdot 10^{-7} \cdot 92,6 - A_{S,m} \cdot 10^{-4} - 3 \cdot 10^{-3}] \cdot 30 \cdot 60 \cdot 1,2$$

$$\text{Ta có } A_{S,m} = 369 \text{ m}^2$$

Thể tích bể

$$V_B = 2,5 \cdot 369 = 922,5 \text{ m}^3$$

Kiểm tra điều kiện biên:

$$q_s = \frac{k_i \cdot A_S + Q_{Dr}}{A_{Bem}} \cdot 10^7 \geq 2 \text{ l/(s.ha)}$$

$$q_s = \frac{10^{-4} \cdot 369 + 3}{50000} \cdot 10^7 = 607 \geq 2 \text{ l/(s.ha)}$$

Hồ điều hòa

Dung tích lưu giữ nước mưa tạm thời của hồ chứa được xác định theo công thức sau:

$$Q \cdot \Delta t - q \cdot \Delta t = W_2 - W_1$$

Trong đó:

W_1, W_2 - dung tích nước trong hồ chứa lúc ban đầu và cuối thời gian mưa (m^3)

Q, q – lưu lượng trung bình đến và đi trong thời gian mưa (m^3/s)

Δt – thời gian mưa (s)

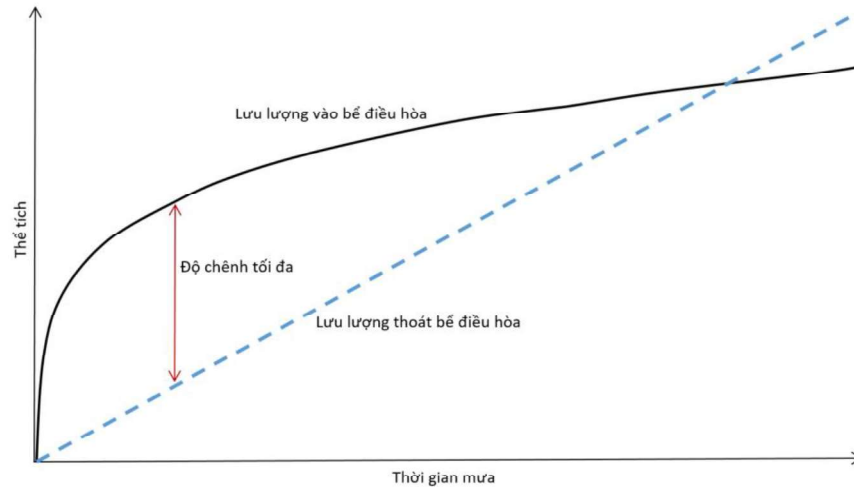
Hồ điều hòa có thể được xây bằng bê tông, kè đá học, đất sét lót HDPE hay nhiều vật liệu khác. Hồ có thể kín (bể chứa ngầm) hoặc hở, và cũng có thể là các hồ tự nhiên. Công trình này có thể được tích hợp với các công trình thấm nước kể trên.

Phạm vi ứng dụng của công trình:

- Diện tích lưu vực thoát nước của công trình không nên lớn hơn 200 ha, hoặc thời gian nước chảy về đến công trình không quá 15 phút.

- Công suất thoát nước của công trình $q_{Dr} \geq 2 \text{ l/(s.ha)}$.
- Tần suất chảy tràn cho phép của công trình nhỏ hơn 10 năm.

Thể tích của hồ điều hòa được tính toán dựa trên sự chênh lệch giữa lượng mưa rơi xuống lưu vực và lượng nước thoát ra từ công trình điều hòa. Thể tích đơn vị của bể (m^3/ha) được tính dựa trên lưu lượng đơn vị của lưu vực thoát nước (ứng với cơn mưa với tần suất n năm và thời gian mưa D phút) và lưu lượng đơn vị thoát ra khỏi bể điều hòa.



Hình 4.37. Nguyên tắc tính toán thể tích hồ điều hòa

Thể tích đơn vị của hồ điều hòa được tính như sau:

$$V_{B,đv} = (r_{D(n)} - q_{Dr}) \cdot D \cdot f_z \cdot 0,06$$

Trong đó:

$V_{B,đv}$ m^3/ha thể tích đơn vị của hồ điều hòa;

$r_{D(n)}$ l/(s.ha) lượng mưa đơn vị trong thời gian D và tần suất xuất hiện n năm;

q_{Dr} l/(s.ha) lưu lượng đơn vị chảy ra khỏi công trình;

D phút thời gian mưa tính toán;

f_z [-] hệ số an toàn (thường lấy bằng 1,2);

0,06 hệ số chuyển đổi từ l/s sang m^3/min ;

Thể tích cần thiết của hồ được tính như sau:

$$V_B = V_{B,đv} \cdot A_{Bem}$$

Trong đó:

V_B m^3 thể tích cần thiết của hồ điều hòa;

$V_{B,đv}$ m^3/ha thể tích đơn vị của hồ điều hòa;

A_{Bem} m^2 tổng diện tích lưu vực thoát nước tính toán đổ về công trình (đã tính đến hệ số dòng chảy).

Ví dụ tính toán:

Tính toán thể tích của hồ điều hòa cho một khu đô thị với các thông số như sau:

$$A_{Bem} = 10 \text{ ha}$$

$r_{D(n)} = 41 \text{ l/(s.ha)}$ ($D = 120$ phút với cơn mưa 5 năm 1 lần – giá trị này thay đổi theo từng khu vực tính toán)

$$q_{Dr} = 10 \text{ l/(s.ha)}$$

$$f_Z = 1,2$$

Thể tích đơn vị của hồ điều hòa được tính như sau:

$$V_{B,đv} = (r_{D(n)} - q_{Dr}) \cdot D \cdot f_Z \cdot 0,06$$

$$V_{B,đv} = (41 - 10) \cdot 120 \cdot 1,2 \cdot 0,06 = 267,84 \text{ (m}^3\text{/ha)}$$

Thể tích cần thiết của hồ điều hòa:

$$V_B = V_{B,đv} \cdot A_{Bem}$$

$$V_B = 267,84 \cdot 10 = 2678,4 \text{ (m}^3\text{)}$$

Ngoài ra, có thể tính toán thể tích điều hòa của hồ W (m³) trên cơ sở tính toán cân bằng nước và quá trình lưu lượng nước mưa chảy vào - xả ra khỏi hồ theo các kịch bản vận hành theo mức nước thấp nhất (đảm bảo mức nước cảnh quan sinh thái) và mức nước lớn nhất (đảm bảo không gây ngập úng lưu vực) (TCVN 7957:2023).

Đối với những công trình nhỏ, không yêu cầu độ chính xác cao, khi áp dụng phương pháp cường độ giới hạn để tính toán thiết kế hệ thống thoát nước mưa, có thể tính toán thể tích điều hòa công thức sau:

$$W = K \cdot Q_n \cdot t$$

Trong đó:

Q_n - Lưu lượng tính toán nước mưa chảy tới hồ (m³/s) theo thời gian t ;

t - Thời gian mưa tính toán của toàn bộ các lưu vực thuộc tuyến cống tới miệng xả vào hồ (căn cứ theo bảng tính thủy lực mạng lưới thoát nước mưa);

K - Hệ số, phụ thuộc đại lượng α , lấy theo bảng dưới đây.

α - tỷ lệ giữa lưu lượng nước mưa đã được điều tiết chảy vào tuyến cống sau hồ Q_x và lưu lượng nước mưa tính toán chảy vào hồ Q_n , xác định theo biểu thức:

$$\alpha = \frac{Q_x}{Q_n}$$

Hệ số K để tính dung tích hồ điều hòa theo TCVN 7957:2023

α	K	α	K	α	K
0,1	0,5	0,4	0,42	0,7	0,13
0,15	1,1	0,45	0,36	0,75	0,1
0,20	0,85	0,5	0,3	0,8	0,07
0,25	0,69	0,55	0,25	0,85	0,04
0,30	0,58	0,6	0,21	0,9	0,02
0,35	0,5	0,65	0,16		

4.4. Tính toán thiết kế hệ thống thoát nước mưa

4.3.1. Quan điểm tính toán

Sự gia tăng dân số và phát triển đô thị có thể tạo ra các vấn đề nghiêm trọng trong quản lý nước đô thị. Một trong những phương pháp quan trọng để duy trì và cải thiện môi trường nước đô thị là tiến hành sử dụng một cách đầy đủ và hợp lý các hệ thống tiêu thoát nước mưa. Quá trình gia tăng đô thị hóa làm tăng bề mặt không thấm nước trong lưu vực, làm giảm lượng thấm. Nhiều hệ thống thoát nước đô thị đã được xây dựng với một mức độ đô thị hóa nhất định thì hiện nay đang phải làm việc với một mức độ đô thị hóa cao hơn và vì thế không đủ khả năng đáp ứng.

Hệ thống thoát nước mưa đô thị cơ bản gồm các thành phần: (i) thành phần giữ nước bao gồm ao, hồ, đầm chứa, bể chứa, ...; (ii) thành phần chuyển nước bao gồm các lòng dẫn như sông, kênh, cống, đường phố được cung cấp nguồn nước từ mưa hoặc các nguồn khác từ cống, kênh dẫn khác; (iii) thành phần nhận nước có thể là sông, hồ, biển. Việc tính toán nhằm xác định một hệ thống thoát nước mưa thích hợp cần xem xét cả ở khía cạnh không gian và thời gian. Ở đó, các lưu vực đô thị thay đổi trong không gian mà ở đó độ dốc mặt đất, lớp phủ, loại mặt phủ thay đổi từ vị trí này sang vị trí khác trong lưu vực. Sự thay đổi về mặt thời gian là các quá trình biến đổi theo thời gian của các đặc trưng thủy văn trong quá trình đô thị hóa.

Hiện nay, hệ thống thoát nước mưa có thể được phân tích thông qua các mô hình toán học để nhằm mô phỏng hệ thống thoát nước mưa đô thị phân bố theo không gian và thời gian hoặc có thể bỏ qua sự thay đổi về mặt không gian để coi từng lưu vực hoặc tiểu lưu vực thoát nước là độc lập để dễ dàng tính toán hơn với các công thức theo phương pháp thích hợp hoặc cường độ giới hạn. Một trong những mục tiêu quan trọng nhất của việc tính toán thoát nước mưa chính là việc xác định lưu lượng đỉnh và tổng lượng nước mưa.

Việc tính toán hệ thống thoát nước mưa đô thị bao gồm 2 nhiệm vụ chính: (i) Tính toán xác định lưu lượng dòng chảy lớn nhất của lưu vực do tuyến kênh/ cống thoát nước phục vụ và (ii) thiết kế hệ thống thoát nước, bao gồm việc xác định kích thước, độ dốc, cao độ của các tuyến kênh/cống thoát nước trong hệ thống đó; hay xác quy mô, kích thước, cao độ và cả chế độ vận hành các công trình trên hệ thống nếu có như trạm bơm nước mưa, hồ điều hòa và các công trình điều tiết.

Trong tính toán thoát nước mưa thường sử dụng các giả thiết và ràng buộc sau đây:

-Hệ thống thoát nước là hệ thống phân nhánh hình cây, dẫn nước từ thượng lưu về hạ lưu, không được làm ở dạng đường vòng khép kín

-Kích thước tuyến kênh/ cống thoát nước thiết kế là kích thước nhỏ nhất có khả năng dẫn dòng chảy bằng hoặc lớn hơn lưu lượng thiết kế (thường là lưu lượng dòng chảy lớn nhất ứng với các lượng mưa/ cường độ mưa thiết kế).

-Vận tốc dòng chảy trong tuyến kênh/ cống thoát nước cần được xác định đảm bảo khả năng không gây lắng cặn và không phá hủy vật liệu của tuyến thoát nước.

-Tại chỗ đầu nối, cao độ đỉnh của tuyến cống thượng lưu không được thấp hơn cao độ đỉnh của tuyến cống hạ lưu.

-Công suất cống hạ lưu không được nhỏ hơn công suất cống thượng lưu.

4.4.2. Các phương pháp tính toán thiết kế thoát nước mưa

Phương pháp tỷ lệ (Rational method)

Phương pháp tỷ lệ được áp dụng từ những năm của thế kỷ 19 và vẫn là phương pháp phổ biến nhất để thiết kế công thoát nước mưa. Mặc dù đã có rất nhiều quan điểm cho rằng các hạn chế của phương pháp này cũng như đề xuất một vài các phương pháp tiên tiến hơn, nhưng do tính đơn giản mà phương pháp tỷ lệ vẫn được tiếp tục sử dụng để thiết kế cống khi không cần yêu cầu độ chính xác cao về tốc độ của dòng chảy.

Theo phương pháp tỷ lệ, lưu lượng dòng chảy lớn nhất Q được xác định khi toàn bộ lưu vực tham gia vào dòng chảy tại cửa ra của nó ứng với cường độ mưa i tại thời gian tập trung t_c , được xác định theo công thức sau đây:

$$Q = q.A.C.\beta.$$

Trong đó:

- + q – Cường độ mưa, l/s/ha
- + A - diện tích lưu vực mà tuyến cống phụ trách.
- + C – hệ số dòng chảy, $0 \leq C \leq 1$,
- + β – Hệ số phân bố mưa.

Cường độ mưa được tính toán theo công thức ứng với các bộ thông số khí hậu được đưa ra trong TCVN 7957:2023; Hệ số dòng chảy và hệ số phân bố mưa được diễn hình hóa trong TCVN 7957:2023.

Các giả thiết liên quan tới phương pháp tỷ lệ là:

-Tốc độ dòng chảy lớn nhất tại điểm diễn ra là một hàm của tốc độ mưa trung bình trong thời gian tập trung. Có nghĩa là lưu lượng đỉnh không tạo nên từ một trận mưa lớn hơn có thời đoạn ngắn hơn trong đó chỉ có một phần của lưu vực tham gia vào dòng chảy tại cửa ra.

-Thời gian tập trung là thời gian để dòng chảy được hình thành và chảy từ những nơi xa nhất của lưu vực tiêu đến điểm nhận của hệ thống đường ống đã thiết kế.

-Cường độ mưa không đổi trong suốt thời kỳ trận mưa (không tăng giảm theo thời gian mưa của một chu kỳ mưa lặp lại nhất định).

Phương pháp tỷ lệ hay phương pháp cường độ giới hạn là một phương pháp phổ biến, dễ sử dụng, nhưng do tính giới hạn của cách tính, thì phương pháp tỷ lệ chỉ nên được sử dụng để lựa chọn đường kính cống mà thôi. Các tính toán hệ thống thoát nước mưa không chỉ bao gồm hệ thống cống, mà còn các công trình giữ và trữ nước, công trình điều tiết và trạm bơm cưỡng bức nước mưa, yêu cầu tính tổng lưu lượng theo thời gian cơn mưa thì phương pháp thích hợp không thể giải quyết được một cách thấu đáo. Phương pháp tính toán bằng mô hình toán là giải pháp thay thế hữu hiệu trong các trường hợp tính toán này.

Để xác định cường độ mưa tính toán i , đã có nhiều phương pháp xác định như sau:

- Phương pháp thiết kế biểu đồ quan hệ I-D-F;
- Phương pháp cường độ giới hạn.

Hệ số dòng chảy C là biến được biết ít chính xác nhất trong Phương pháp Rational. Việc lựa chọn đúng hệ số dòng chảy đòi hỏi sự phán đoán và kinh nghiệm của người thiết kế. Giá trị của C phụ thuộc vào độ không thấm nước, độ dốc và đặc tính lưu giữ của bề mặt nền. Nó cũng phụ thuộc vào các đặc điểm và điều kiện của đất, lớp phủ thực vật, thời lượng và cường độ mưa, điều kiện độ ẩm trước đó, v.v. Giá trị C = 1.0 thường được sử dụng ở các khu vực đô thị phát triển. Ở những khu vực kém phát triển hơn, các giá trị C sau đây có thể được sử dụng, nhưng cần tính đến sự thay đổi bề mặt khi khu vực phát triển trong tương lai gần. Đối với các lưu vực lớn, cần thận trọng trong lựa chọn các giá trị C thích hợp để đảm bảo rằng thiết kế sẽ an toàn và hiệu quả về mặt chi phí.

Đặc điểm bề mặt	Hệ số dòng chảy, C*
Nhựa đường	0.70 – 0.95
Bê tông	0.80 – 0.95
Gạch	0.70 – 0.85
Đồng cỏ (đất mịn**)	
Phẳng	0.13 – 0.25
Dốc	0.25 – 0.35
Đồng cỏ (đất cát)	
Phẳng	0.05 – 0.15
Dốc	0.15 – 0.20

* Đối với các mái dốc tự nhiên dốc hoặc các khu vực có bề mặt đất nông nằm dưới lớp đá không thấm nước, có thể áp dụng giá trị C cao hơn từ 0,4 - 0,9.

** Đất nặng là đất hạt mịn có thành phần chủ yếu là phù sa và đất sét.

Thời gian tập trung dòng chảy t_c là thời gian để một giọt nước chảy ra từ điểm xa nhất trong lưu vực đến cửa xả. Đối với hệ thống thoát nước đô thị:

$$t_c = t_o + t_f$$

$$t_f = \sum_{j=1}^n \frac{L_j}{V_j}$$

Trong đó:

t_o = thời gian đầu vào (thời gian để dòng chảy bề mặt từ điểm xa nhất đến điểm thượng nguồn của hệ thống thoát nước);

t_f = thời gian chảy trong cống;

L_j = chiều dài của đoạn cống thứ j;

V_j = vận tốc dòng chảy tại cống thứ j.

Thời gian đầu vào, hoặc thời gian tập trung dòng chảy tự nhiên, thường được ước tính từ các công thức thực nghiệm dựa trên các quan sát thực địa. Ở Hồng Kông, phương trình Brandsby William thường được sử dụng:

$$t_o = \frac{0.14465L}{H^{0.2}A^{0.1}}$$

Trong đó:

t_o = thời gian tập trung của một lưu vực tự nhiên (phút);

A = diện tích lưu vực (m^2);

H = độ dốc trung bình (m trên 100 m), được đo dọc theo dòng chảy tự nhiên, từ đỉnh của lưu vực đến điểm đang xem xét;

L = khoảng cách (trong kế hoạch) được đo trên dòng chảy tự nhiên giữa đỉnh và điểm đang xem xét (m).

Hiện nay các đơn vị tư vấn hay sử dụng phương pháp tỷ lệ (rational method) để tính toán. Bên cạnh những ưu điểm, phương pháp này có một số hạn chế. Phương pháp tỷ lệ giả định rằng dòng chảy có liên quan trực tiếp và tỷ lệ thuận với lượng mưa, C là hệ số tỷ lệ. Giả định như vậy là không thực tế. Vì lý do này, một số tài liệu đã hạn chế việc sử dụng phương pháp tỷ lệ cho những khu vực nhỏ. ASCE (1992), ví dụ, khuyến nghị nên sử dụng phương pháp tỷ lệ cho các khu vực có diện tích dưới 80 ha. Tuy nhiên, Cục Bảo vệ Môi trường New Jersey hạn chế áp dụng phương pháp này đến 8 ha. Một số tác giả đề xuất sử dụng phương pháp tỷ lệ lên tới 100 ha. Phương pháp tỷ lệ phù hợp nhất và chính xác nhất đối với các khu vực có xây dựng, nơi không thấm, độ thấm không đáng kể và khả năng giữ lại nước bề mặt nhỏ.

Tính đến ảnh hưởng của cường độ mưa đến tổn thất, một số cơ quan quy định việc điều chỉnh hệ số dòng chảy dựa trên tần suất lặp lại trận mưa tính toán. Bang New Jersey (1999), chẳng hạn, khuyến nghị sử dụng cùng hệ số dòng chảy đối với các trận mưa có chu kỳ 2 và 10 năm và áp dụng hệ số 1,20 và hệ số 1,25 cho hệ số dòng chảy đối với trận mưa lần lượt có chu kỳ mưa 50 năm và 100 năm. Tuy nhiên, không chỉ cường độ mưa mà cả thời gian mưa cũng ảnh hưởng đến lượng nước mưa tính toán ban đầu. Vì vậy, việc áp dụng hệ số gần đúng vào hệ số dòng chảy sẽ chưa khắc phục được hoàn toàn sự bất cập của phương pháp tính cường độ dòng chảy đỉnh. Hệ số dòng chảy còn thay đổi theo độ sâu lớp nước mưa (Hormoz Pazwash, 2016).

Phương pháp thời gian - khu vực (time – area)

Phương pháp này được sửa đổi từ phương pháp tỷ lệ. Nó bao gồm sự kết hợp của một dữ liệu mưa với một sơ đồ khu vực thời gian gia tăng. Cho một dạng mưa bão trong đó cường độ mưa trung bình trong các gia số thời gian liên tiếp là i_1, i_2, i_3 , các hoành độ kế tiếp của biểu đồ thủy văn dòng chảy có thể được viết là:

$$Q_1 = 0.278 C i_1 A_1$$

$$Q_2 = 0.278 (C i_1 A_2 + C i_2 A_1)$$

$$Q_3 = 0.278 (C i_1 A_3 + C i_2 A_2 + C i_3 A_1) \dots \text{v.v..}$$

Trong đó

C = hệ số dòng chảy

$A_1, A_2, \text{v.v.}$ = các bước tăng liên tiếp của biểu đồ vùng thời gian

Công thức trên là cơ sở của Phương pháp Hydrograph bởi Watkins (1962) được sử dụng ở Vương quốc Anh để thiết kế hệ thống thoát nước đô thị.

Phương pháp biểu đồ quan hệ I-D-F

Phương pháp sử dụng biểu đồ quan hệ I-D-F là phương pháp tương đối chính xác, có thể áp dụng cho tất cả các lưu vực, điều kiện địa hình khác nhau. Phương pháp này dựa trên cơ sở sắp xếp thống kê những tài liệu thực đo. Tuy nhiên nó đòi hỏi phải có đầy đủ tài liệu về mưa trong nhiều năm của máy đo mưa tự ghi.

Khi đó có đủ số liệu, lựa chọn những trận mưa tiêu chuẩn ứng với từng khoảng thời gian (thời đoạn) quy định.

Có hai cách chọn các trận mưa tiêu chuẩn:

- Chọn một chỉ số lớn nhất ứng với các thời đoạn đã quy định cho mỗi năm. Các này áp dụng trong những trường hợp có nhiều số liệu thực đo.
- Chọn vài trị số lớn nhất ứng với các thời đoạn đã quy định cho mỗi năm. Cách này áp dụng trong những trường hợp ít số liệu để tránh bỏ qua những trận mưa có cường độ lớn trong các năm.

Sau khi chọn được các trận mưa theo các năm, ta sắp xếp theo thứ tự cường độ mưa giảm dần. Sau đó tính cường độ mưa ứng với các thời đoạn khác nhau và tần suất khác nhau theo tài liệu thực đo.

Nếu số liệu thực đo có nhiều năm, thì có thể tính được tần suất P% nhỏ hoặc chu kỳ Pt lớn với độ chính xác cao, ngược lại tài liệu càng ít thì sai số càng lớn.

Để xác định cường độ mưa theo tần suất được chọn ứng với các thời đoạn từ 5 đến 180 phút có thể dùng công thức

$$N = P.n$$

Trong đó:

N: số thứ tự các hàng được chọn theo tần suất;

P: tần suất tính theo %;

n: số năm có tài liệu.

Từ các phương pháp thiết kế thoát nước mưa đã được nghiên cứu ở trên cho thấy, phương pháp tỷ lệ (rational method) hay phương pháp cường độ giới hạn là phương pháp được áp dụng rộng rãi và đáp ứng được yêu cầu thiết kế cho hệ thống thoát nước ở các nước trên thế giới bao gồm cả Việt Nam.

Phương pháp tính toán cường độ mưa theo TCVN7957-2023

Tính toán thủy lực hệ thống thoát nước mưa theo TCVN 7957:2023 được thực hiện theo 2 bước:

+ Bước 1: Xác định sơ bộ kích thước công trình (bằng phương pháp cường độ giới hạn hoặc phương pháp tỷ lệ);

+ Bước 2: Kiểm tra kết quả tính toán ở bước 1 bằng mô hình thủy lực, nếu xét thấy cần thiết thì điều chỉnh kết quả tính ở bước 1.

Khi thiết kế xây dựng hệ thống tiêu thoát nước mưa cho các khu đô thị, khu dân cư tập trung, khu công nghiệp, hệ số tiêu thiết kế và lưu lượng thoát nước thiết kế của các tuyến cống xác định theo TCVN 7957:2023, Thoát nước - Mạng lưới và công trình bên ngoài - Tiêu chuẩn thiết kế. Theo TCVN 7957:2023, lưu lượng tính toán tiêu thoát nước mưa của tuyến cống (Q), đơn vị l/s xác định theo công thức tổng quát sau:

$$Q = q.C.F$$

Trong đó:

q - cường độ mưa tính toán (l/s/ha);

C - hệ số dòng chảy tiêu thoát nước đô thị. Hệ số C phụ thuộc vào loại mặt phủ và chu kỳ lặp lại của trận mưa tính toán;

F - diện tích lưu vực mà tuyến cống phụ trách (ha).

Cường độ mưa tính toán q (TCVN 7957:2023) xác định theo một trong các phương pháp sau:

a) Phương pháp biểu đồ quan hệ I-D-F (Cường độ mưa - Thời gian mưa - Tần suất)

Biểu đồ này được lập cho từng vùng lãnh thổ trong cả nước và được quy định trong TCVN 7957:2023 (tuy nhiên số liệu này chưa được cập nhật).

b) Phương pháp Wenzel:

Áp dụng công thức sau:

$$q = \frac{C}{t_m + P}$$

trong đó:

t_m - thời gian mưa (phút);

P - chu kỳ lặp lại của trận mưa tính toán (năm);

C - hệ số phụ thuộc vào chu kỳ lặp lại của trận mưa tính toán, được quy định trong TCVN nói trên.

c) Phương pháp cường độ giới hạn:

Áp dụng công thức sau:

$$q = \frac{A(1 + C \log P)}{(t_m + b)^n} k$$

Trong đó:

t_m - thời gian mưa (phút);

P - chu kỳ lặp lại của trận mưa tính toán (năm);

A, C, b, n - các tham số xác định theo điều kiện mưa của địa phương nơi có dự án, được quy định trong TCVN nói trên.

k - hệ số tính đến tác động của yếu tố biến đổi khí hậu đối với cường độ mưa, lấy ≥ 1 , phụ thuộc vào kịch bản biến đổi khí hậu từng địa phương và theo khuyến nghị của các cơ quan chuyên môn về khí tượng thủy văn ở khu vực (tuy nhiên số liệu này chưa được cập nhật).

Chú thích:

1/ Số liệu mưa để tính toán hệ số tiêu q cho các khu đô thị và công nghiệp cần có chuỗi thời gian quan trắc liên tục từ 20 - 25 năm liên tục bằng máy đo mưa tự ghi, thời gian mưa tối đa từ 150 - 180 phút.

2/ Khi lập quy hoạch tiêu hoặc thiết kế xây dựng công trình đầu mối tiêu cho vùng tiêu có nhiều đối tượng tiêu nước, hệ số tiêu thiết kế của đối tượng tiêu nước là khu công nghiệp và đô thị xác định như sau: Xác định đường quá trình lưu lượng nước từ các cửa ra của tiểu vùng này đổ trực tiếp vào trục tiêu chung của vùng theo TCVN 7957:2023, sau đó quy đổi ra đường quá trình hệ số tiêu và hệ số tiêu thiết kế.

3/ Trong các tính toán gần đây, để đáp ứng yêu cầu phải tính đến ảnh hưởng của biến đổi khí hậu, dựa trên một số dữ liệu mưa thay đổi nhưng chưa được chia sẻ chính thống, các đơn vị tư vấn thường lấy $k = 1,0-1,3$. Khoảng dao động lớn của k dẫn đến kết quả tính không sát với thực tế, gây tổn kém hoặc vẫn không đáp ứng được yêu cầu kiểm soát úng ngập.

Tính toán thoát nước mưa theo mô hình toán thủy văn – thủy lực

Hiện nay tính toán tiêu nước cho các thành phố và khu đô thị lớn thường sử dụng các mô hình toán thủy văn - thủy lực. Có rất nhiều loại mô hình đang được áp dụng. Nguyên tắc tính toán bằng mô hình là chia lưu vực thành nhiều tiểu vùng, trong đó các đặc trưng về mặt phủ được coi như đồng nhất trong mỗi tiểu vùng. Mô hình trận mưa tiêu thiết kế được tính theo thời đoạn 5, 10, 30, 60... phút. Quá trình hình thành và tập trung dòng chảy trên các tiểu vùng vào mạng lưới đường ống, kênh mương, công trình trữ và điều tiết nước trên lưu vực đến công trình đầu mối tiêu được mô phỏng và khái quát hoá dưới dạng các phương trình toán học. Kết quả tính toán sẽ cho đường quá trình lưu lượng cần tiêu ra ngoài qua các công trình đầu mối tiêu (đường $Q_i \sim t$) tương ứng với từng trường hợp tính toán.

4.4.1. Phương pháp tính toán thoát nước mưa theo I-D-F

4.4.1.1. Cơ sở lý thuyết xây dựng đường I-D-F

Đường I-D-F là đường cong mô tả mối quan hệ giữa cường độ mưa – thời đoạn – tần suất, thường được sử dụng cho các bài toán thủy văn xác định lưu lượng đỉnh lũ thiết kế hay thiết kế hệ thống thoát nước mưa.

Ý tưởng về việc xây dựng đường cong đã được đưa ra từ rất sớm (Bernard, 1932). Đối với các khu vực có số liệu đo mưa thời đoạn ngắn, đường quan hệ I-D-F được xây dựng dựa trên việc phân tích tần suất. Khi áp dụng cho các khu vực không có số liệu thực đo, các nghiên cứu thường sử dụng cách tiếp cận như xây dựng bản đồ đẳng trị cường độ mưa ứng với các thời đoạn khác nhau (David M. Hershfield, 1961), hay sử dụng các bảng tra, công thức liên hệ giữa tần suất và thời đoạn mưa (Chow et al., 1988; Koutsoyiannis et al., 1998; Nhat et al., 2007).

Tại Việt Nam, các nghiên cứu về xây dựng đường quan hệ IDF đã được tiến hành từ lâu. TCVN 7957:2008 (Thoát nước - Mạng lưới và công trình bên ngoài - Tiêu chuẩn thiết kế) đã đưa ra các công thức tính toán IDF khác nhau với các hệ số được đưa thành dạng bảng tra theo vùng. Tiêu chuẩn TCVN 13615 – 2022 đã đưa ra đường IDF không thứ nguyên cho từng vùng và được thể hiện bằng các hàm toán học với các thông số là thời gian, tần suất và chuẩn mưa năm. Một số các nghiên cứu của các nhà khoa học trong nước (Hà Xuân Ánh, 2023; Hồng & Anh, 2018; Thắng, 2017; Thanh & Xuan, 2023) cũng đã nghiên cứu xây dựng các đường quan hệ IDF cho một số vùng theo các phương pháp khác nhau như phương pháp tần suất sử dụng số liệu thực đo thời đoạn ngắn, công thức kinh nghiệm...

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu (BĐKH), đã có nhiều các nghiên cứu về tác động của BĐKH đến đường quan hệ cường độ mưa – thời đoạn – tần suất. Nhìn chung, các cách tiếp cận chính của các nghiên cứu này là dựa trên phân tích xu thế chuỗi dữ liệu thực đo hoặc sử dụng các kết quả mô phỏng mưa bằng các mô hình khí hậu. Đối với phương pháp phân tích xu thế, một số nghiên cứu đã xác định các xu thế biến đổi theo thời gian đặc trưng mưa các thời đoạn từ dữ liệu mưa thực đo để từ đó xác định chúng trong tương lai (Denault et al., 2006; Ologhadien, 2019). Đối với cách tiếp cận thứ hai, các nghiên cứu thường sử dụng các mô hình khí hậu mô phỏng các đặc trưng mưa trong tương lai. Sự biến đổi lượng mưa trong thời đoạn ngắn có thể được mô phỏng trực tiếp bằng các mô hình khí hậu hoặc được ước tính bằng các phương pháp thống kê dựa trên mối quan hệ giữa thời đoạn ngắn-dài (Prodanovic & Simonovic, 2007; Wang et al., 2014). Cách tiếp cận thứ nhất có ưu điểm đơn giản nhưng không gắn trực tiếp với một kịch bản BĐKH cụ thể. Với cách tiếp cận thứ hai, số lượng số liệu cần mô phỏng và thu thập, phân tích đòi hỏi rất lớn, đặc biệt với trường hợp sử dụng mô hình khí hậu mô phỏng các đặc trưng mưa thời đoạn ngắn. Do vậy, các nghiên cứu hiện nay thường sử dụng kết hợp các mô hình khí hậu mô phỏng khí hậu tương lai và sau đó sử dụng các phương pháp thống kê để ước tính sự thay đổi các đặc trưng mưa các thời đoạn khác nhau.

Tại Việt Nam, một số các nghiên cứu liên quan đến tác động của BĐKH đến đường IDF. Nguyễn Trọng Quân và nnk (Nguyễn Trọng Quân et al., 2017) đã nghiên cứu ảnh hưởng của BĐKH đến quan hệ giữa IDF và mưa cực đoạn, ứng dụng cho trạm Tân Sơn Hoà. Nghiên cứu này sử dụng công cụ SDSM để hiệu chỉnh sai số mô phỏng mưa BĐKH thời đoạn ngày của một số mô hình khí hậu toàn cầu. Sau đó, giả thiết mối quan hệ tuyến tính giữa mưa thời đoạn ngày và thời đoạn ngắn hơn để đánh giá sự thay đổi lượng mưa một ngày lớn nhất do BĐKH cũng như các thời đoạn ngắn hơn. Cách làm này ưu điểm nhanh, đơn giản nhưng không phải trạm đo nào cũng có quan hệ tuyến tính giữa lượng mưa cực trị của các thời đoạn khác nhau. Cách tiếp cận khác dựa trên tính chất bất biến về tỷ lệ giữa các thời đoạn khác nhau của mưa (Gupta & Waymire, 1990). Bulando và Rosso sau đó đã xây dựng đường quan hệ lượng mưa – thời đoạn – tần suất dựa trên mô hình tỷ lệ đơn giản này (Burlando & Rosso, 1996). Nhiều nghiên cứu khác trên thế giới cũng đã thực hiện để đánh giá, khai thác phương pháp tỷ lệ cho việc phân tích các tính chất mưa cực trị (Menabde et al., 1999; Nhat et al., 2007; Willems, 2000). Ở Việt Nam, phương pháp này cũng đã được một số nghiên cứu thực hiện ứng dụng cho các khu vực ở Việt Nam (An et al., 2019; Lưu Nhật Linh, 2016). Phương pháp này có độ tin cậy cao hơn so với phương pháp trên do tính chất bất biến về tỷ lệ đã được chứng minh qua nhiều nghiên cứu. Đồng thời, phương pháp cũng không quá phức tạp, dễ ứng dụng cho bài toán BĐKH với số liệu đầu vào thời đoạn ngày. Do vậy, nghiên cứu

này sẽ lựa chọn phương pháp Tỷ lệ đơn giản để đánh giá tác động của BĐKH đến quan hệ cường độ mưa – thời đoạn – tần suất, ứng dụng cho trạm Láng ở Hà Nội.

4.4.1.2. Xây dựng đường cong IDF với số liệu thực đo

Khi vùng nghiên cứu có dữ liệu đo mưa tại các trạm thời đoạn ngắn, đường cong IDF có thể được xây dựng bằng cách sử dụng phương pháp phân tích tần suất với các bước thực hiện như sau:

Bước 1. Thu thập dữ liệu mưa đo thời đoạn ngắn. Tại khu vực nghiên cứu, lựa chọn trạm đo mưa đại diện cho khu vực nghiên cứu. Thu thập các dữ liệu mưa đo mưa thời đoạn ngắn (5 phút, 10 phút, 15 phút, 30 phút, 60 phút...) cho đến 24 giờ lớn nhất.

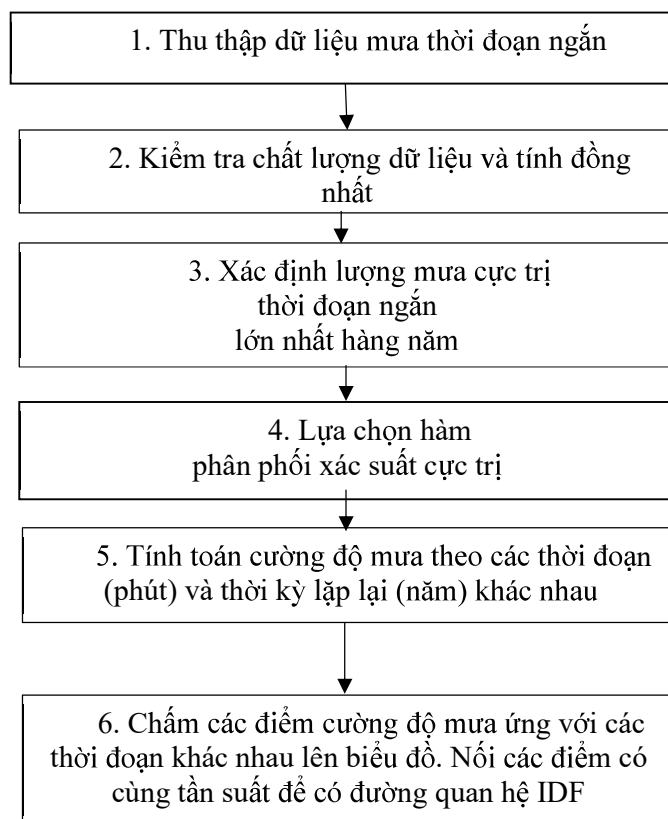
Bước 2. Rà soát, kiểm tra chất lượng dữ liệu và tính đồng nhất. Một số phương pháp kiểm tra hay dùng bao gồm sử dụng đường cong lũy tích kép với lượng mưa các trạm lân cận, kiểm tra cường độ mưa giữa các thời đoạn khác nhau...

Bước 3. Xác định lượng mưa cực trị lớn nhất từng năm.

Bước 4. Lựa chọn hàm phân phối xác suất. Sử dụng các hàm phân phối xác suất cực trị hay dùng như Pearson III, Gumbel, GEV... để xác định mưa cực trị các thời đoạn ứng với các tần suất khác nhau.

Bước 5. Tính toán cường độ mưa theo các thời đoạn khác nhau ứng với các thời kỳ lặp lại (tần suất) khác nhau.

Bước 6. Nối các cường độ mưa có cùng thời kỳ lặp lại (tần suất) để tạo thành họ các đường quan hệ cường độ mưa – thời đoạn – tần suất (IDF).



Hình 4.38. Sơ đồ các bước xây dựng đường cong IDF từ số liệu thực đo

4.4.1.3. Xây dựng đường cong IDF có xét tới biến đổi khí hậu

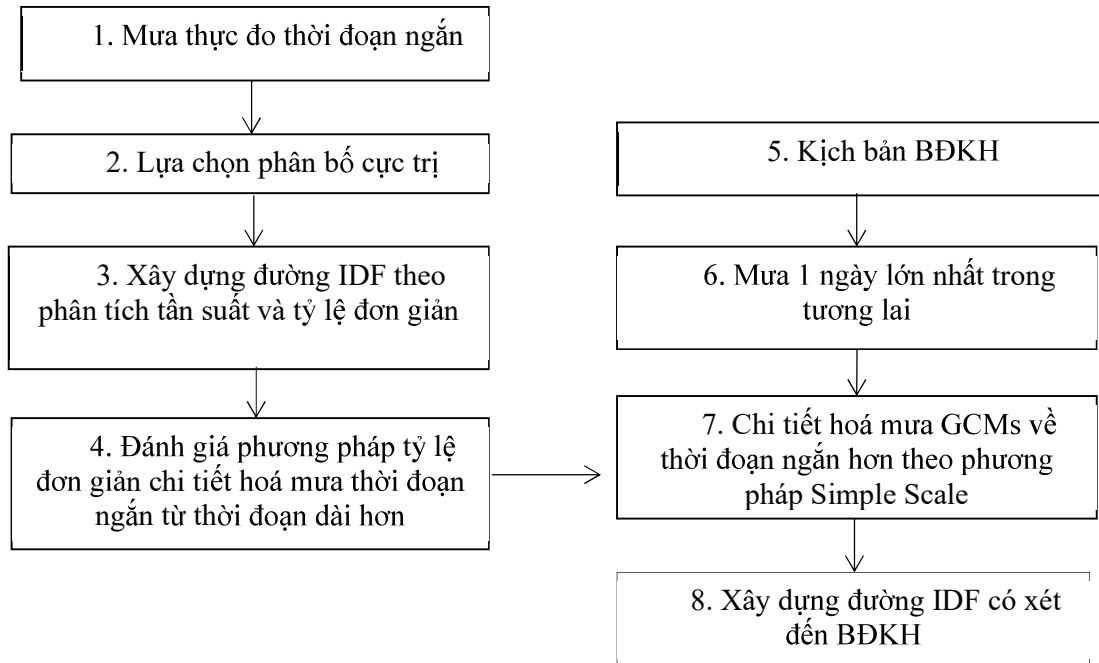
Biến đổi khí hậu (BĐKH) là thuật ngữ được dùng để chỉ sự thay đổi của khí hậu do tác động chủ yếu của con người làm thay đổi các thành phần của khí quyển trái đất. Sự thay đổi này kết hợp với các yếu tố biến động tự nhiên của tự nhiên dẫn tới các biến đổi của khí hậu qua các thời kỳ.

Để đánh giá tác động của BĐKH đến yếu tố khí tượng, các mô hình khí hậu toàn cầu được sử dụng để mô phỏng diễn biến thay đổi lượng mưa, nhiệt độ... dựa trên các kịch bản Biến đổi khí hậu của Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi khí hậu. Các kết quả mô phỏng thường được thể hiện ở bước thời gian dài (trung bình năm, trung bình tháng, ngày...). Các dữ liệu có thời đoạn ngắn hơn rất khó thu thập. Do vậy, để xây dựng được đường cong quan hệ cường độ mưa – thời đoạn – tần suất (IDF) có xét đến BĐKH sẽ cần phải sử dụng phương pháp có thể chi tiết hoá lượng mưa thiết kế thời đoạn dài hơn về thời đoạn ngắn hơn (vài giờ đến vài phút).

Gupta và Waymire đã phát triển khái niệm tỷ lệ dựa trên bằng chứng thực nghiệm cho thấy tính bất biến về tỷ lệ giữa các thời đoạn khác nhau của mưa (Gupta and Waymire, 1990). Sau đó, Burlando và Rosso đã ứng dụng mô hình tỷ lệ để xây dựng mối quan hệ giữa lượng mưa – thời đoạn – tần suất sử dụng phân bố xác suất log chuẩn (Burlando and Rosso, 1996). Menabde và cộng sự (1999) (Menabde, Seed and Pegram, 1999a) đã phát triển một phương pháp chia tỉ lệ đơn giản (Simple Scale) để sử dụng thống kê lượng mưa hàng ngày để suy ra các đường cong IDF cho thời lượng mưa nhỏ hơn 1 ngày. Sau đó, đã có rất nhiều các nghiên

cứu về việc đánh giá, sử dụng phương pháp tỷ lệ trong việc phân tích các tính chất mưa cực trị được thực hiện. (Willems, 2000; Nhat *et al.*, 2007)

Sơ đồ các bước thực hiện xây dựng đường cong quan hệ IDF có xét đến BĐKH được trình bày như sau:



Hình 4.39. Các bước xây dựng đường cong IDF có xét đến BĐKH

Các bước 1, 2, 3 (phân tích tần suất) tương tự như mục trước.

Phương pháp tỷ lệ đơn giản là phương pháp tính toán các trị số cường độ mưa thiết kế với đoạn ngắn (< 1 ngày) với các tần suất khác nhau từ trị số cường độ mưa thiết kế thời đoạn dài (ngày). Tại bước 3, phương pháp tỷ lệ đơn giản được xây dựng mô phỏng cho giai đoạn nền để tìm các thông số phù hợp.

Bước 4. Đánh giá phương pháp tỷ lệ đơn giản. Kết quả tính toán từ phương pháp này sẽ được so sánh với kết quả tính từ phương pháp phân tích tần suất để đảm bảo sự phù hợp của các thông số trước khi ứng dụng tính toán với các kịch bản BĐKH tương lai.

Bước 5. Xác định/ lựa chọn kịch bản BĐKH phù hợp.

Bước 6. Xác định mưa một ngày lớn nhất thiết kế theo các kịch bản BĐKH đã chọn ở bước 5.

Bước 7. Chi tiết hoá lượng mưa thời đoạn ngắn ứng với các tần suất khác nhau có xét đến BĐKH sử dụng phương pháp Tỷ lệ đơn giản với các thông số xác định ở bước 3 và 4.

Bước 8. Xây dựng đường IDF tương lai có xét đến BĐKH.

4.4.1.4. Chọn số liệu mưa

Phương pháp thiết kế dựa trên biểu đồ quan hệ IDF là phương pháp chính xác, có thể áp dụng cho tất cả các lưu vực, điều kiện địa hình khác nhau. Phương pháp này dựa trên cơ sở sắp

xếp thống kê những tài liệu thực đo. Tuy nhiên nó đòi hỏi phải có đầy đủ tài liệu về mưa trong nhiều năm của máy đo mưa tự ghi.

Khi có đủ số liệu, lựa chọn những trận mưa tiêu chuẩn ứng với từng khoảng thời gian (thời đoạn) quy định.

Có hai cách chọn các trận mưa tiêu chuẩn:

- Chọn một chỉ số lớn nhất ứng với các thời đoạn đã quy định cho mỗi năm. Các này áp dụng trong những trường hợp có nhiều số liệu thực đo.
- Chọn vài trị số lớn nhất ứng với các thời đoạn đã quy định cho mỗi năm. Cách này áp dụng trong những trường hợp ít số liệu để tránh bỏ qua những trận mưa có cường độ lớn trong các năm.

Sau khi chọn được các trận mưa theo các năm, ta sắp xếp theo thứ tự cường độ mưa giảm dần. Sau đó tính cường độ mưa ứng với các thời đoạn khác nhau và tần suất khác nhau theo tài liệu thực đo.

Nếu số liệu thực đo có nhiều năm, thì có thể tính được tần suất P% nhỏ hoặc chu kỳ Pt lớn với độ chính xác cao, ngược lại tài liệu càng ít thì sai số càng lớn.

Để xác định cường độ mưa theo tần suất được chọn ứng với các thời đoạn từ 5 đến 180 phút có thể dùng công thức

$$N = P.n$$

Trong đó:

N: số thứ tự các hàng được chọn theo tần suất;

P: tần suất tính theo %;

n: số năm có tài liệu.

(Chen C. L., 1983)

4.4.1.5. Xây dựng đường quá trình mưa của trận mưa thiết kế

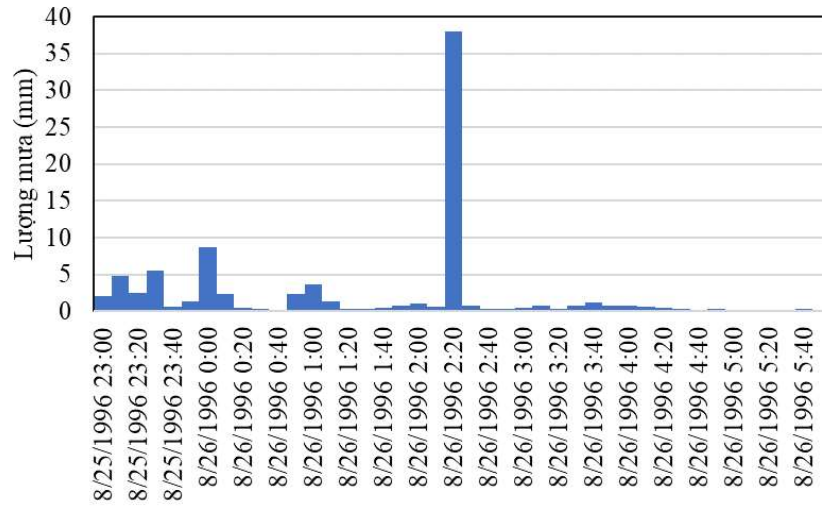
a/ Mô hình phân phối mưa điển hình

Mô hình phân bố mưa điển hình của các trận có thời gian xuất hiện mưa bằng thời gian xuất hiện trận mưa điển hình được xác định bằng cách tính tỉ lệ của mưa các thời đoạn với tổng lượng mưa của cả trận. Mô hình phân phối mưa của trận mưa thực đo có cường độ mưa 10' lớn nhất xấp xỉ cường độ mưa 10' ứng với tần suất thiết kế được chọn là phân phối mưa điển hình.

Để xác định được phân phối mưa thiết kế theo trận mưa điển hình cần có chuỗi số liệu mưa lớn nhất thời đoạn 10' và số liệu mưa các trận mưa tương ứng với thời đoạn 10'. Từ chuỗi số liệu mưa lớn nhất thời đoạn 10', đường tần suất cường độ mưa ứng với mưa 10' sẽ được xây dựng. Cường độ mưa 10' ứng với tần suất thiết kế sẽ được xác định từ đường tần suất cường độ mưa này. Tiếp đến, giá trị cường độ mưa 10' lớn nhất thực đo có giá trị xấp xỉ cường độ mưa thiết kế được chọn. Từ thời gian xuất hiện giá trị cường độ mưa thực đo có thể xác định trận mưa tương ứng.

Mô hình phân phối mưa với số liệu mưa tại trạm Láng, Hà Nội

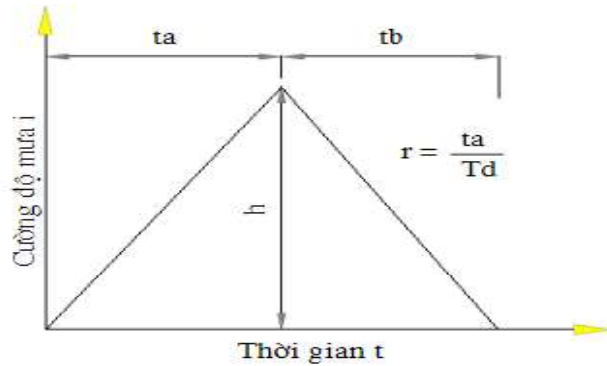
Trận mưa xảy ra từ 25/8/1996 23:00 đến 26/8/1996 5:50 được chọn là trận mưa điển hình. Trận mưa thiết kế với chu kì $T=3$ năm.



Hình 4.40. Mô hình phân phối mưa điển hình của trận mưa có chu kì lặp lại $T=3$ năm

b/ Mô hình phân phối mưa tam giác

Phân bố tam giác là một mô hình phân bố đơn giản bởi khi biết trước tổng lượng mưa (P), thời gian mưa (t_a+t_b) và thời gian mưa đạt đỉnh (t_a), thì lượng mưa thời đoạn lớn nhất được xác định chính bằng chiều cao h của hình tam giác.



Hình 4.41. Các đặc trưng của mô hình phân phối mưa hình tam giác

Chiều dài T_d , chiều cao h , do đó tổng lượng mưa P được tính theo công thức:

$$P = \frac{1}{2} T_d \cdot h \quad \text{Eq. 1}$$

Hệ số r được xác định nghĩa là tỷ số của thời gian trước đỉnh T_a trên tổng thời gian:

$$r = \frac{T_a}{T_d} \quad \text{Eq. 2}$$

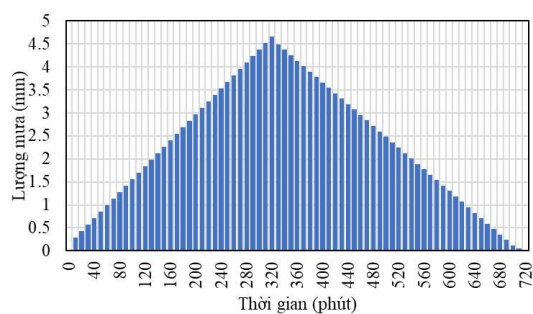
Thời gian T_b được đưa ra bởi:

$$t_b = T_d - t_a \quad \text{Eq. 3}$$

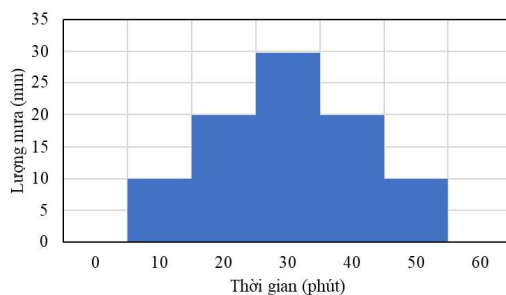
Từ mô hình phân bố mưa, xác định được thời điểm xuất hiện cường độ mưa lớn nhất. Từ thời gian bắt đầu đến thời gian kết thúc ta tính được tỷ số r . Giá trị r trung bình của các trận mưa được xác định là giá trị điển hình cho thu phóng theo phương pháp tam giác.

Mô hình phân phối mưa với số liệu mưa tại trạm Láng, Hà Nội

Dựa số liệu các trận mưa lớn nhất thực đo, xác định được hệ số tỉ lệ giữa thời gian cường độ mưa đạt giá trị lớn nhất và thời gian mưa của cả trận mưa bình quân là 0.456 và thời đoạn mưa $T_d=12$ giờ. Kết hợp giá trị tổng lượng mưa 12h được xác định từ đường IDF ứng với chu kỳ lặp lại $T=3$ năm, mô hình phân phối mưa với số liệu mưa tại trạm Láng được thể hiện ở hình dưới (hình a). Bên cạnh đó, để đánh giá ảnh hưởng của thời đoạn mưa đến mô hình phân phối mưa và khả năng thoát nước của hệ thống, mô hình phân phối mưa dạng tam giác cũng được xây dựng với thời đoạn mưa $T_d=1$ giờ (hình b).



(a)



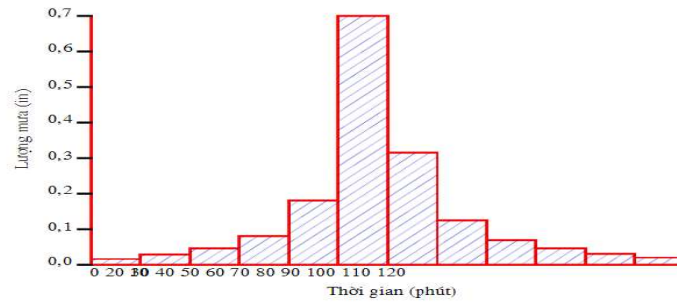
(b)

Hình 4.42. Mô hình phân phối mưa dạng tam giác của trận mưa có chu kỳ lặp lại $T=3$ năm với thời đoạn mưa (a) 12 giờ và (b) 1 giờ

c/ Mô hình phân phối mưa khối xen kẽ

Mô hình phân bố khối xen kẽ được xây dựng từ một đường cong quan hệ cường độ - thời gian mưa - tần suất. Đặc trưng của mô hình này là độ sâu mưa xuất hiện trong n khoảng thời gian Δt kế tiếp nhau trên tổng thời gian $t_d = n \cdot \Delta t$. Từ đường IDF tương ứng với thời kỳ xuất hiện lại đã chọn và tính độ sâu lũy tích bằng cách nhân cường độ mưa với thời gian mưa. Hiệu giữa hai giá trị liên tiếp, ta tính được độ sâu mưa thiết kế ứng với mỗi Δt , được gọi là các khối. Các khối được sắp xếp với cường độ mưa lớn nhất được xếp ở giữa hoặc ở thời gian xuất

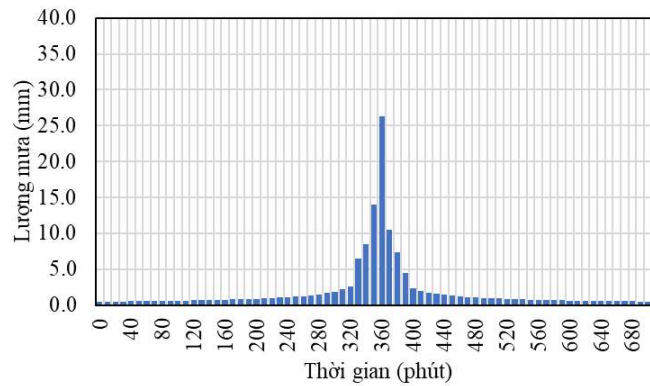
hiện đỉnh của thời gian mưa, các khối còn lại được sắp xếp theo thứ tự giảm dần và được chia đều ở bên phải và bên trái của khối trung tâm ở hình dưới đây.



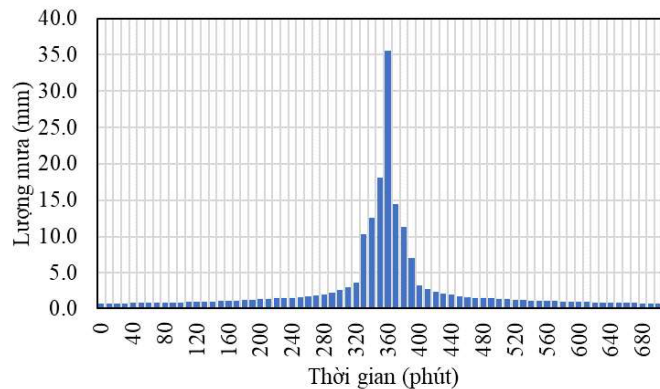
Hình 4.43. Ví dụ minh họa về mô hình phân phối mưa khối xen kẽ

Mô hình phân phối mưa với số liệu mưa tại trạm Láng, Hà Nội

Để đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến khả năng thoát nước của hệ thống, nghiên cứu tiến hành xây dựng mô hình phân phối mưa cho trận mưa với chu kì lặp lại $T=3$ năm theo phương pháp khối xen kẽ với đường IDF được xây dựng từ số liệu mưa thực đo và đường IDF được xây dựng từ kịch bản biến đổi khí hậu RCP 4.5.



(a)



(b)

Hình 4.44. Mô hình phân phối mưa theo phương pháp khối xen kẽ cho trận mưa có $T=3$ năm trong điều kiện (a) khí hậu hiện tại và (b) biến đổi khí hậu

4.5. Ứng dụng mô hình mô phỏng trong tính toán thiết kế hệ thống thoát nước mưa

4.4.2. Giới thiệu chung

Lũ lụt là một loại hình thiên tai xảy ra phổ biến và gây thiệt hại lớn nhất cho các quốc gia trên thế giới. Phần lớn các nghiên cứu và cân nhắc tập trung vào lũ lụt do nước tràn do lũ trên sông và do nước dâng cao dọc theo bờ biển do mực nước biển dâng, biến đổi thủy triều và nước dâng do bão ven biển. Tuy nhiên, thiệt hại do lũ lụt xảy ra thường xuyên và bất thường đã trở thành vấn đề đặc biệt nghiêm trọng ở các khu vực đô thị nằm ở vùng trũng thấp, nơi mà cơ sở hạ tầng chống nước mưa xuống cấp, gia tăng dân số và phát triển hệ thống công trình kiên cố đã tăng tốc trong vài thập kỷ qua. Ở Hoa Kỳ, ước tính có 83% dân số sống ở khu vực thành thị, tăng từ 64% vào năm 1950. Đến năm 2050, 89% dân số Hoa Kỳ và 68% dân số thế giới dự kiến sẽ sống ở khu vực thành thị (UNDP, 2018). Độ che phủ của cây đô thị ở Hoa Kỳ là 39,4% và đang giảm dần, trong khi các bề mặt không thấm nước đã mở rộng tới 26,6% các khu vực đô thị (Nowak et al, 2018). Hay ở Đức, quá trình đô thị hóa đã mở rộng 3,2% trên toàn quốc từ năm 2006 đến năm 2015 và chủ yếu diễn ra ở các khu vực ít dân cư. Các khu vực ngoại thành đóng góp 19,3–19,6% tỷ lệ không thấm nước mở rộng trên toàn quốc (Nguyen Hanh et al, 2023). Còn ở Việt Nam, dân số đô thị tăng trung bình 3%/năm và đến tháng 9/2022, tỉ lệ đô thị hóa trên toàn quốc đã đạt 41,8% với 888 đô thị (Tran TLA, 2022).

Có thể nói rằng việc giải quyết vấn đề tiêu thoát nước cho đô thị có từ ngàn năm trước. Đến những năm 1850 ở các thành phố của Anh đã có những công trình cống tiêu thoát nước rất lớn như Bazalgette ở Luân Đôn. Mô hình toán được xem là một công cụ hữu hiệu trong việc xem xét các bài toán liên quan đến tài nguyên nước nói chung và thoát nước đô thị nói riêng. Năm 1980, Dym đã định nghĩa mô hình toán là “bộ 3 (S, Q, M) trong đó S là hệ thống, Q là câu hỏi liên quan đến S và M là bộ các phương trình toán học $M=\{1, 2, 3, \dots, n\}$ được sử dụng để trả lời Q” (Dym, 2004). Một mô hình thoát nước mưa đô thị là một mô hình có thể mô tả hệ thống thoát nước mưa (S) để trả lời câu hỏi như là sự biến đổi theo không gian và thời gian của các đặc trưng dòng chảy và ngập lụt trên hệ thống thoát nước mưa (Q). Bằng cách giải các phương trình toán học (M) mô tả sự hình thành dòng chảy trên bề mặt lưu vực tập trung vào hệ thống thu nước, quá trình chuyển động của nước trong hệ thống thoát nước cùng với ảnh hưởng của các công trình thủy lực và yếu tố ảnh hưởng khác, mô hình thoát nước mưa đô thị sẽ cung cấp một bức tranh hoàn thiện về trạng thái ngập lụt của khu vực nghiên cứu. Mô hình thoát nước mưa đô thị cho phép xác định các vị trí ngập và nguyên nhân chính gây ra ngập lụt tốt hơn cũng như giúp cho việc đánh giá hiệu quả của các giải pháp giảm nhẹ trong công tác quản lý ngập lụt đô thị.

Từ đầu những năm 60 các mô hình mô phỏng thủy văn tất định đã được xây dựng. Các mô hình này bao gồm các mô hình mô phỏng sự kiện để mô hình hóa quan hệ mưa rào dòng chảy cộng với các mô hình mô phỏng liên tục trong đó đề cập các nguyên tắc tính toán độ ẩm của đất dùng để mô phỏng dòng chảy từ mưa có thời đoạn giờ hoặc ngày trong một thời kì dài. Ngay từ khi ra đời và cho đến ngày nay, tùy từng các đặc tính và yêu cầu mô phỏng các mô hình đã được phát triển rất mạnh mẽ.

Dựa trên phương pháp mô phỏng các thành phần trong hệ thống, các mô hình thoát nước mưa đô thị có thể được chia thành ba nhóm mô hình: (i) mô hình dòng chảy trong cống một

chiều, (ii) mô hình kết hợp dòng chảy trong cống 1 chiều và chảy tràn một chiều và (iii) mô hình kết hợp dòng chảy trong cống một chiều và chảy tràn hai chiều.

Các mô hình khởi đầu có thể kể đến như:

- Mô hình quá trình lũ HEC-1 của hiệp hội kỹ thuật quân sự Mỹ (1981);
- Chương trình tính thủy văn của các dự án của Cục bảo vệ đất (Hoa kỳ-1965);
- Mô hình quản lý lưu vực SWWM của Tổ chức bảo vệ môi trường Mỹ (1977);
- Mô hình Storm của Hiệp hội kỹ sư quân sự Mỹ (1976);
- Mô hình tổng hợp dòng chảy và điều khiển hồ chứa SSARR của Hiệp hội kỹ sư quân sự Mỹ (1972);

Mô hình tính toán hệ thống thoát nước mưa đô thị được dùng nhiều hiện nay có thể kể đến:

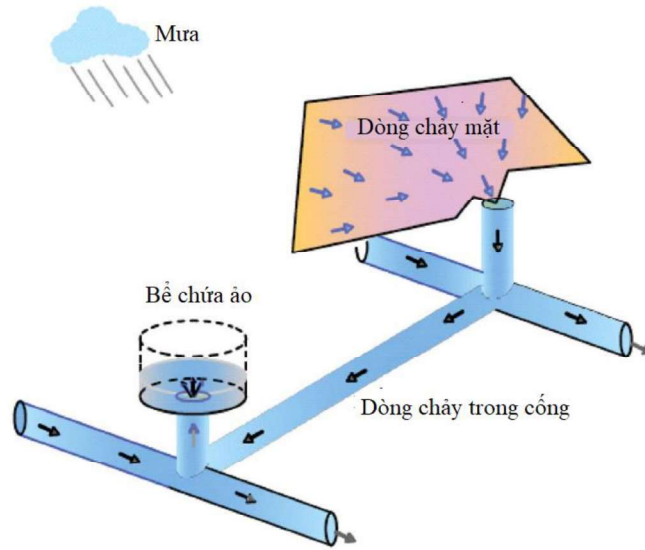
- Mô hình MIKE FLOOD, bao gồm bộ 3 mô hình có thể tích hợp giữa mô hình một chiều và 2 chiều, gồm MIKE 21, MIKE11, MIKE URBAN, trong đó MIKE URBAN mô hình một chiều được phát triển thân thiện nhất trong việc mô phỏng hệ thống thoát nước đô thị.
- Mô hình SWWM, là mô hình ra đời rất sớm và vẫn được ngày càng hoàn thiện qua nhiều phiên bản, đây là phần mềm với mã nguồn mở nên được sử dụng nền tảng của nhiều phần mềm khác như PC SWWM, bản thân trong MIKE URBAN cũng có lựa chọn mô phỏng trên lõi SWWM.

Trên đây chưa phải là danh sách đầy đủ các mô hình đã có, tuy nhiên đó có thể là những mô hình thường xuyên được sử dụng trong tính toán mô phỏng thủy văn nói chung và tính toán mô phỏng hệ thống thoát nước đô thị nói riêng.

4.4.3. Mô hình dòng chảy trong cống một chiều (1D)

Cơ sở lý thuyết

Mô hình dòng chảy trong cống một chiều (1D) mô phỏng dòng chảy trong cống thoát nước mưa và đơn giản hóa các tình huống khi vượt quá khả năng vận chuyển của hệ thống (Bulti et al, 2020). Hệ thống cống thoát nước được mô tả bằng một tập hợp các liên kết (đại diện cho ống dẫn) và các nút (đại diện cho hố ga). Với cách tiếp cận này, lượng nước tràn được coi là nước ứ đọng tạm thời được lưu trữ trong một bể chứa ảo trên đỉnh các hố ga, và người ta cho rằng nước bắt đầu quay trở lại từ bể chứa khi cột nước thủy lực tại nút cho phép (Henonin et al, 2013).



Hình 4.45. Minh họa phương pháp tiếp cận trong mô hình dòng chảy trong cống 1D

Dòng chảy trong cống được diễn toán giải bằng cách giải hệ phương trình Saint–Venant bao gồm phương trình liên tục (Eq. 1) và phương trình động lực (Eq. 2).

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q_{\text{lat}} \quad \text{Eq. 1}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha Q^2}{A} \right) + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} - S_o \right) + g \frac{AQ|Q|}{K^2} = 0 \quad \text{Eq. 2}$$

Trong đó: Q là lưu lượng (m³/s), A là diện tích mặt cắt ướt (m²); x là khoảng cách (m); y là độ sâu dòng chảy (m); g là gia tốc trọng trường (m/s²); S_o là độ dốc lòng sông (-) và S_f là độ dốc ma sát (-).

Số liệu đầu vào và kết quả đầu ra

Số liệu đầu vào

Để tiến hành mô phỏng hệ thống thoát nước mưa trong mô hình dòng chảy trong cống 1 chiều cần các dữ liệu sau:

- Số liệu của hệ thống thoát nước, bao gồm: vị trí, đường kính cống, độ sâu chôn cống/cao trình đỉnh cống, cao trình bề mặt đất, ...;
- Diện tích của các tiểu lưu vực;
- Đặc điểm thấm phủ;
- Số liệu mưa thời đoạn ngắn;
- Mục nước tại nguồn tiếp nhận; vv.

Kết quả đầu ra

Sau khi tiến hành mô phỏng, các đặc trưng được xác định từ mô hình bao gồm:

- Lưu lượng, tốc độ, độ sâu dòng chảy trong cống;
- Mức nước tại các hố ga;
- Thể tích nước gây ngập;
- Độ sâu ngập tại các bể chứa ảo; ...

Ưu và nhược điểm

Ưu điểm

- Đơn giản, thời gian tính toán ngắn
- Yêu cầu số liệu không quá phức tạp
- Cho phép xác định các vị trí có khả năng xảy ra ngập lụt

Nhược điểm

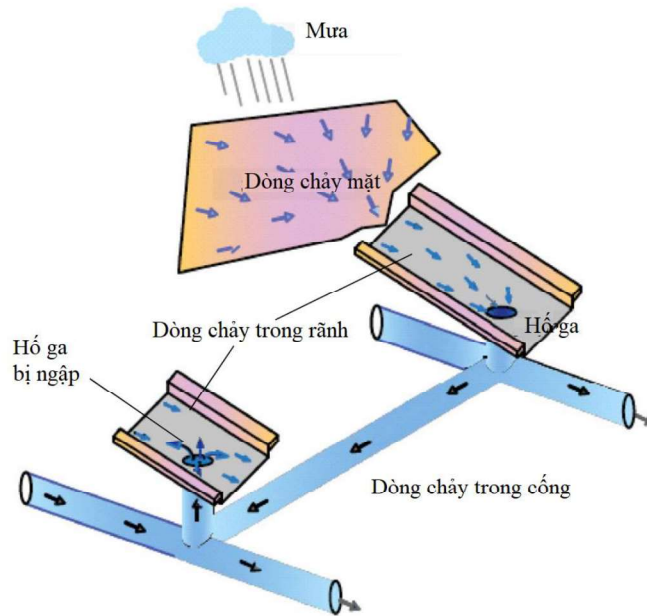
- Độ sâu ngập tại các bể chứa ảo không phản ánh được độ sâu ngập trong thực tế
- Không xác định được phạm vi và thời gian ngập trong thực tế
- Không mô phỏng được trao đổi nước giữa hệ thống trên bề mặt và hệ thống dưới đất.

4.4.4. Mô hình kết hợp dòng chảy trong cống một chiều và chảy tràn một chiều (1D-1D)

Cơ sở lý thuyết

Mô hình kết hợp dòng chảy trong cống một chiều và chảy tràn một chiều 1D–1D là mô hình trong đó dòng chảy một chiều của hệ thống cống được kết hợp với mô hình một chiều của dòng chảy bề mặt. Trong trường hợp này, hệ thống bao gồm hệ thống cống dưới đất, các kênh hở và ao do người dùng xác định được kết nối với hệ thống thoát nước mưa. Cách tiếp cận này cho phép mô phỏng được sự tương tác giữa dòng chảy dưới đất và dòng chảy trên mặt đất (Mark et al, 2004). Dòng chảy tràn trên bề mặt đường phố được hình thành trước khi đi vào hệ thống đường ống ngầm thông qua các hố thu nước. Nếu khả năng thu nước của hệ thống thoát nước bị hạn chế, chỉ một phần nước có thể chảy vào đường ống và một lượng lớn nước chảy tràn sẽ được vận chuyển trên bề mặt trong và sau một trận mưa lớn. Điều này có thể xảy ra ngay cả khi hệ thống đường ống ngầm có đủ sức tải. Nước trong hệ thống đường ống có thể quay trở lại hệ thống đường phố nếu sức tải của hệ thống đường ống không đủ. Trong trường hợp này nước sẽ chảy từ hệ thống đường ống vào hệ thống đường phố gây ngập bề mặt. Thời gian ngập trên đường phố phụ thuộc vào khả năng lấy nước của hố thu, khả năng thoát nước của hệ thống đường ống, thấm và bốc hơi trong lưu vực. Trong phương pháp lập mô hình hiện tại, hệ thống thoát nước đô thị bao gồm hai mạng lưới, một mạng lưới đại diện cho dòng chảy bề mặt tự do trên đường phố và một mạng lưới đường ống. Hệ thống thoát nước được mô hình hóa thành hai mạng lưới kết nối động. Mô hình thủy động lực dựa trên nghiệm ngầm của phương trình St Venant. Hai mạng lưới định tuyến lượng mưa chảy tràn đồng thời trong đường ống và trên đường phố. Các hố ga (nút mạng) hoạt động như các điểm trao đổi dòng chảy giữa đường ống và hệ thống đường phố. Nước từ hệ thống đường phố có thể đi vào hệ thống đường ống bằng cách chảy qua các hố thu hoặc hố ga và ngược lại. Cần có hai mô hình, đó là mô hình thủy văn mô phỏng dòng chảy bề mặt do mưa và mô hình thủy lực mô tả dòng chảy trong đường ống, đường phố và trữ lượng nước trên bề mặt. Trong mô phỏng ngập lụt đô thị, quy trình thủy văn được tách biệt về mặt khái niệm với thủy lực của hệ thống thoát nước. Việc tính

toán dòng chảy bề mặt do mưa có thể được thực hiện bằng mô hình dòng chảy bề mặt tiêu chuẩn, ví dụ: thời gian/diện tích, sóng động học hoặc mô hình hồ chứa tuyến tính. Đường quá trình dòng chảy bề mặt được tính toán cho mỗi tiểu lưu vực. Sau đó, đường quá trình lưu lượng từ mỗi tiểu lưu vực sẽ được sử dụng làm đầu vào cho mô hình thủy động lực, mô phỏng dòng chảy trong hệ thống đường ống và đường phố. Dòng chảy từ lưu vực được đưa vào mô hình trên đường phố hoặc trực tiếp vào cống tùy thuộc vào cách bố trí hệ thống thoát nước ở địa phương. Do đó, ngập lụt ban đầu sẽ được tạo ra do sức tải của hệ thống cống hoặc các cửa vào của hệ thống cống không đủ.



Hình 4.46. Minh họa mô phỏng dòng chảy trong mô hình kết hợp 1D-1D

(Bulti et al, 2020)

Trong mô hình dòng chảy trong cống 1 chiều, khi lượng nước bổ sung từ hệ thống đường ống chảy vào hệ thống đường phố, mô hình đều lưu trữ nước lũ từ hệ thống ngầm trong một bể chứa ảo và thể tích lưu trữ sẽ quay trở lại đường ống sau khi hệ thống tiếp tục dòng chảy bề mặt tự do. Để đạt được tiến bộ đáng kể trong mô phỏng ngập lụt và để mô hình hóa trạng thái động của ngập lụt ở các khu vực đô thị một cách đáng tin cậy, cần có dữ liệu có độ phân giải cao về mô hình địa hình [14]. Bài báo của Maksimovic kết luận rằng cần có một phương pháp mới để mô phỏng việc lưu trữ lũ bề mặt trên hệ thống đường phố, không sử dụng phương pháp tiếp cận hồ chứa ảo tại mỗi điểm nút tính toán trên bề mặt. Bằng cách áp dụng các tính năng của GIS như DEM và mô-đun mô phỏng, có thể đạt được mô hình lưu trữ thực tế và định tuyến ngập lụt bề mặt. Nếu nước từ mạng lưới đường ống chảy qua hố ga và chạm tới mặt đường thì lũ lụt sẽ xảy ra. Diện tích bề mặt ngập nước tăng dần theo DEM và do đó, mô hình có thể mô tả chính xác mực nước dâng dọc theo đường phố và các đường biên giới, từ đó mô phỏng tình trạng ngập lụt bề mặt. Cần có mối quan hệ diện tích-độ cao đối với địa hình bề mặt, để xác định khả năng lưu trữ lũ lụt bề mặt—làm đầu vào của mô hình, ví dụ: như một chức năng lưu trữ cho một lưu vực. Mối quan hệ này được phát triển từ DEM với ứng dụng GIS. Mối quan hệ giữa khu vực và độ cao phải được xác định cho từng tiểu lưu vực được kết nối với mạng lưới đường phố. Các tiểu lưu vực được giả định là các khu vực lân cận xung quanh hố ga, nơi

lũ bề mặt có thể lan rộng. Khi xảy ra ngập trên bề mặt, dòng chảy dọc đường có thể theo một trong hai hướng dọc theo đường; không nhất thiết hướng dòng chảy trong đường phố phải trùng với độ dốc của đường phố hoặc giống như trong bất kỳ dòng chảy ống chôn nào. Xét cho cùng, không nhất thiết bố cục của các đường phố phải phù hợp với mạng lưới đường ống chôn dưới đất.

Trong mô 1D-1D, hồ ga có thể được mô tả như một đập có đỉnh rộng, trong đó chiều dài đỉnh đập được biểu thị bằng chu vi của hồ ga và đỉnh đập có cao trình bằng mặt đường. Lưu lượng xả qua các hồ ga cũng có thể được mô tả bằng phương trình đập thông thường, xét tới cả dòng chảy tự do (Eq. 3) và dòng chảy ngập (Eq. 4). Việc sử dụng đập để mô tả kết nối giữa hệ thống đường ống và đường phố đảm bảo rằng có sự hạn chế đối với cả nước từ đường phố đi vào hệ thống đường ống và nước chảy từ đường ống ra đường phố.

$$Q_h = C_D A_h \sqrt{2gH} \quad \text{Eq. 3}$$

$$Q_h = \text{sign}(z) C_D A_h \sqrt{2g|z|} \quad \text{Eq. 4}$$

Trong đó: A_h , z_h và C_D là diện tích (m^2), cao trình (m) và hệ số lưu lượng của miệng hồ ga (-); H là cột nước trên mặt đất so với miệng hồ ga (m); và z là chênh lệch mực nước trên mặt đất và mực nước trong hồ ga (m).

Số liệu đầu vào và kết quả đầu ra

Số liệu đầu vào

- Mạng lưới bề mặt
- Mạng lưới thoát nước mưa
- Số liệu mưa
- Đặc trưng bề mặt
- Bản đồ số hóa độ cao

Kết quả đầu ra

- Lưu lượng, vận tốc, độ sâu dòng chảy trong cống
- Mực nước tại các hồ ga
- Độ sâu mực nước tại các vùng ngập

Ưu và nhược điểm

Ưu điểm

- Mô hình 1D-1D mô phỏng được hiện tượng trao đổi nước giữa nước trên hệ thống trên bề mặt và hệ thống cống ngầm.
- Phương pháp này cho phép xác định vị trí tràn, độ sâu dòng chảy và vận tốc (một chiều) với độ chính xác vừa đủ, giả sử rằng hướng của dòng chảy trên bề mặt được xác định rõ.
- Thời gian thực hiện mô phỏng ngắn

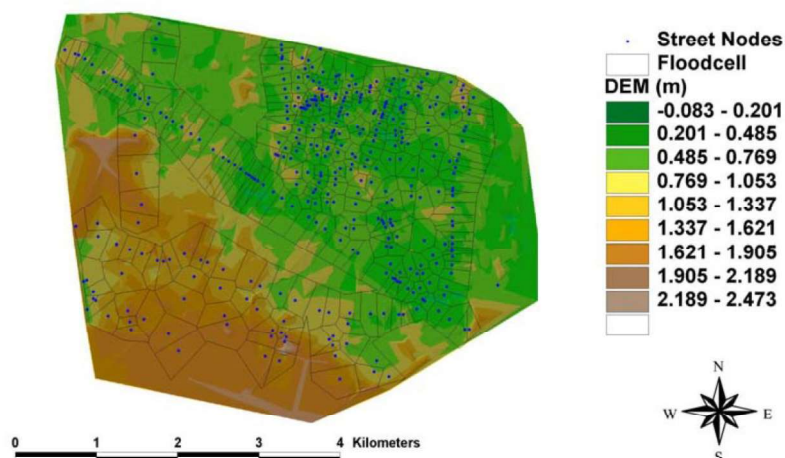
Nhược điểm

- Việc xây dựng và kiểm định hàm lượng trữ cần nhiều thời gian.

- Mô hình chỉ mô phỏng được dòng chảy tràn trên bề mặt theo những tuyến đã định sẵn. Vì vậy, mô hình không mô phỏng được dòng chảy sau khi chảy ra khỏi các tuyến đường (ví dụ như các bãi cỏ, các khu đất tự nhiên) và ảnh hưởng đến độ chính xác của kết quả mô phỏng ngập lụt.

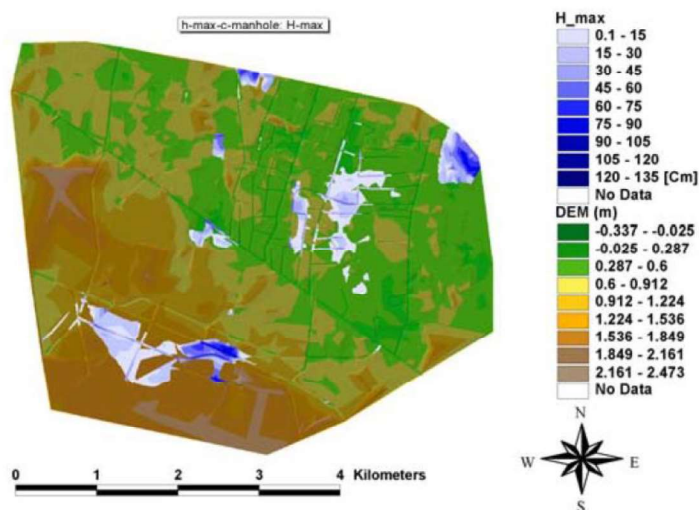
Ví dụ

Mô hình MOUSE, mô tả dòng chảy hai lớp trong mạng lưới đường ống và đường phố, đồng thời mô phỏng dòng chảy một chiều cho mạng lưới sông và kênh, được sử dụng trong mô hình nghiên cứu cho một tiểu lưu vực ở Bangkok có diện tích là 24 km² (Boonya-Aroonnet et al, 2002). Mô hình số hóa độ cao (DEM) và ArcView cũng sẽ được thiết lập để tạo bản đồ ngập lụt ở các khu vực lưu vực. Hệ thống mô phỏng gồm có: 2002 tiểu lưu vực, 2299 hồ ga, 515 lưu vực, 21 cửa xả, 596 đập tràn, 70 trạm bơm, 2057 đoạn cống và 785 kênh/đường.



Hình 4.47. Bản đồ các ô ngập và bản đồ số hóa độ cao DEM

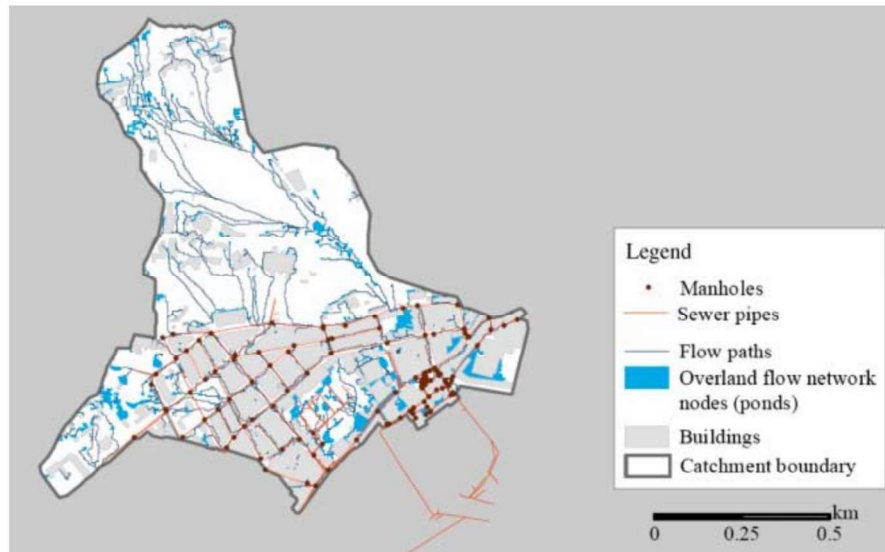
(Boonya-Aroonnet et al, 2002)



Hình 4.48. Bản đồ ngập lụt của khu vực Sukhumvit, Bangkok, Thái Lan ứng với cường độ mưa 15mm/giờ trong 10 phút

(Boonya-Aroonnet et al, 2002)

Trong một nghiên cứu khác, mô hình 1D/1D và mô hình đơn giản hóa của mô hình 1D/1D cũng như mô hình 1D/2D được nghiên cứu ứng dụng trong công tác dự báo ngập lụt đô thị thời gian thực. Trong đó, mô hình 1D/1D được thiết lập bằng cách sử dụng các nút bể chứa và dòng chảy trên bề mặt được mô tả bằng phương pháp tự phân định dòng chảy trên bề mặt đất AOFD (Maksimovic et al, 2009). DEM LiDAR (Phát hiện ánh sáng và phạm vi) với kích thước ô 1x1 m và độ chính xác theo chiều dọc khoảng 0,15 m đã được sử dụng để mô tả mặt cắt ngang của các lòng đường trên mặt đất được giới hạn ở các kênh hình thang hở hoặc hình chữ nhật hở. Sau đó, mô hình 1D/1D được thiết lập bằng cách ghép mạng lưới thoát nước và mạng lưới dòng chảy trên bề mặt đất 1D. Mô hình đã được thiết lập cho khu vực hạ lưu của lưu vực thoát nước Alcantara thuộc Lisbon, Bồ Đào Nha với diện tích khoảng 100 ha và 14.000 cư dân (Leitao et al, 2010). Hệ thống cống có 154 hố ga, 174 đoạn cống, 2 nắp van, 2 cống tràn tổng hợp và 2 cống xả chính ra cửa Tagus. Diện tích lưu vực và mô hình 1D/1D được sử dụng trong nghiên cứu. Các kết quả trong nghiên cứu này cho thấy các mô hình 1D/2D chưa phù hợp để sử dụng trong các ứng dụng dự báo lũ thời gian thực do thời gian mô phỏng dài, trong khi các mô hình 1D/1D đơn giản hóa cho thấy sự giảm đáng kể trong thời gian mô phỏng có thể đạt được mà không ảnh hưởng đến độ chính xác của kết quả mô phỏng (dòng chảy và độ sâu nước).

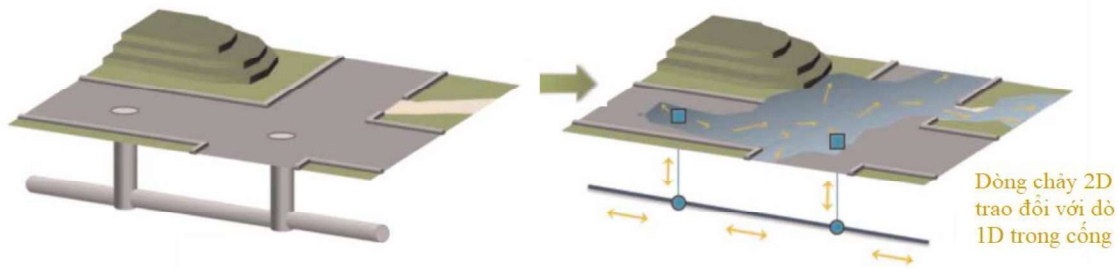


Hình 4.49. Bản đồ khu vực hạ lưu của lưu vực Alcantara thuộc Lisbon, Bồ Đào Nha

4.4.5. Mô hình kết hợp dòng chảy trong cống một chiều và chảy tràn hai chiều (1D-2D)

Cơ sở lý thuyết

Mô hình kết hợp dòng chảy trong cống một chiều và chảy tràn hai chiều 1D-2D (cống-bề mặt) là mô hình trong đó dòng chảy trong cống 1D được kết nối với biểu diễn dòng chảy bề mặt 2D. Sự tương tác dòng chảy giữa hai hệ thống diễn ra tại các rãnh, hố ga và các ô lưới 2D (Jahanbazi et al, 2014). Mô hình 2D tái tạo địa hình bề mặt đô thị, cho phép mô phỏng dòng chảy lan rộng khắp khu vực nghiên cứu, với các kết quả như mực nước và tốc độ dòng chảy với các thành phần hai chiều, ở bất kỳ đâu trong khu vực mô phỏng. Phương pháp kết hợp này hiện nay được sử dụng phổ biến cho nghiên cứu ngập lụt đô thị và các bộ mô hình hiện nay như INFOWORKS của Innovyze và MIKE của DHI.



Hình 4.50. Minh họa về phương pháp tiếp cận trong mô hình 1D-2D

Dòng chảy trên bề mặt được diễn toán bằng cách giải hệ phương trình sóng nước nông 2 chiều theo hai phương x và y (Eq. 5, 6 và 7).

Phương trình liên tục

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = hS \quad \text{Eq. 5}$$

Phương trình động lượng

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial y} = f\bar{u}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \\ \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + \end{aligned} \quad \text{Eq. 6}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{xy}) + hu_s S \\ \frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} = -f\bar{v}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \\ \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + \end{aligned} \quad \text{Eq. 7}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{yy}) + hv_s S$$

Trong đó: t là thời gian; x, y là trục tọa độ Đề các; η là cao trình bề mặt; d là độ sâu nước tĩnh; $h = \eta + d$ tổng độ sâu cột nước; u, v là thành phần của lưu tốc theo phương x, y ; g là gia tốc trọng trường; ρ_0 là khối lượng riêng cơ sở của nước (reference density); $\bar{u}, \bar{v}$ là lưu tốc bình quân theo độ sâu theo phương x và y ; $T_{xx}, T_{xy}, T_{yy}, T_{yx}$ là ứng suất bên; $(\tau_{sx}, \tau_{sy}), (\tau_{bx}, \tau_{by})$ là các thành phần theo phương x và y của ứng suất gió bề mặt và ứng suất đáy; $s_{xx}, s_{xy}, s_{yy}, s_{yx}$ là các thành phần của tenxơ ứng suất bức xạ; p_a là áp suất khí quyển; S là độ lớn của lưu lượng phụ thuộc vào các nguồn dạng điểm; f là hệ số Coriolis.

Tương tự như mô hình 1D-2D, Dòng chảy trên mặt và dòng chảy trong cống kết nối với nhau tại hố ga. Lưu lượng chảy qua miệng hố ga được tính từ các công thức của dòng chảy đập tràn hay qua lỗ trong mô hình 1D-2D.

Số liệu đầu vào và kết quả đầu ra

Số liệu đầu vào

+ Mạng lưới thoát nước mưa

- + Số liệu mưa
- + Đặc trưng bề mặt
- + Bản đồ số hóa độ cao DEM hoặc DTM với độ phân giải cao

Kết quả đầu ra

- + Lưu lượng, vận tốc, độ sâu dòng chảy trong cống
- + Mức nước tại các hố ga
- + Độ sâu mực nước tại các điểm bất kì trong vùng ngập
- + Lưu tốc dòng chảy tại các điểm bất kì trong vùng ngập

Ưu và nhược điểm

Ưu điểm

- + Mô hình 1D-2D mô phỏng được hiện tượng trao đổi nước giữa nước trên bề mặt đất và hệ thống cống ngầm.
- + Mô hình 1D-2D cho phép xác định các đặc trưng ngập lụt (vị trí, thời gian, độ sâu ngập và lưu tốc dòng chảy).
- + Kết quả mô phỏng của mô hình 1D-2D có độ chính xác cao hơn các phương pháp khác.

Nhược điểm

- + Yêu cầu dữ liệu chi tiết.
- + Thời gian thực hiện mô phỏng dài.

4.4.6. So sánh các mô hình tính toán thoát nước mưa

Các mô hình toán được sử dụng trong thiết kế thoát nước đô thị có thể chia theo ba nhóm: (i) dòng chảy trong cống một chiều (1D), (ii) dòng chảy trong cống một chiều kết hợp với chảy tràn một chiều (1D-1D) và (iii) dòng chảy trong cống một chiều kết hợp chảy tràn hai chiều (1D-2D). Các nhóm mô hình có đặc điểm, dữ liệu đầu vào và khả năng mô phỏng khác nhau được tổng hợp trong bảng dưới đây.

Đặc điểm của 3 nhóm mô hình toán mô phỏng thoát nước đô thị

Các đặc điểm	Mô hình mưa dòng chảy	Mô hình thủy lực		
		1D	1D-1D	1D-2D
Yêu cầu về dữ liệu cơ bản	Thông số lưu vực	Dữ liệu hệ thống	Dữ liệu hệ thống, dữ liệu bề mặt (đường và địa hình)	Dữ liệu hệ thống, dữ liệu địa hình (DEM hoặc DTM)
Hệ thống thoát nước	Không	Có	Có	Có
Mô phỏng ngập trên bề mặt	Không	Không	Có, ở một mức độ nhất định	Có

Thời gian tính toán mô phỏng	1 phút	1 phút đến 1 giờ	5 phút đến 1 giờ	1 giờ đến vài giờ
Mô phỏng thời gian thực	Có	Có	Có	Đang nghiên cứu
Bản đồ ngập lụt và độ chính xác	Không	Không hoặc độ chính xác thấp	Độ chính xác trung bình	Độ chính xác cao

Mô hình dòng chảy một chiều trong cống (ví dụ như SWMM) thường được sử dụng trong tính toán thiết kế hệ thống thoát nước với yêu cầu đảm bảo không ngập trong điều kiện thiết kế với thời gian tính toán nhanh, không yêu cầu độ chính xác cao trong kết quả diễn toán dòng chảy mặt. Trong khi đó, mô hình dòng chảy một chiều trong cống và chảy tràn hai chiều được đề xuất cho việc lập kế hoạch và quản lý cống thoát nước mưa, cảnh báo sớm và vận hành khẩn cấp với độ chính xác trung bình và thời gian tính toán vừa phải. Đồng thời, đầu ra của 1D–2D được sử dụng để hiệu chỉnh mô hình 1D–1D trong trường hợp không có đủ dữ liệu thực địa. Nhóm mô hình cuối cùng, mô hình dòng chảy một chiều trong cống và chảy tràn hai chiều thường được ứng dụng trong các nghiên cứu về đánh giá hiểm họa ngập lụt hay đề xuất các giải pháp giảm nhẹ ngập lụt đô thị với thời gian mô phỏng dài và yêu cầu nhiều dữ liệu.

Ở Việt Nam hiện nay, công cụ mô hình được sử dụng phổ biến trong công tác quản lý thoát nước nói chung và cụ thể là tính toán thiết kế hệ thống nói riêng là mô hình dòng chảy một chiều trong cống (SWMM). Việc ứng dụng hai nhóm mô hình thứ ba chỉ dừng lại ở các nghiên cứu mà chưa được ứng dụng rộng rãi trong công tác quản lý. Nhóm mô hình thứ hai chưa được chú ý nghiên cứu và ứng dụng ở Việt Nam. Nhóm nghiên cứu đề xuất ứng dụng mô hình 1D–2D trong giai đoạn nghiên cứu khả thi để so sánh hiệu quả của các giải pháp trong giảm ngập cho đô thị trong qua sự thay đổi của diện tích ngập ứng với các cấp ngập. Bên cạnh đó, mô hình 1D–1D cũng nên được xem xét ứng dụng trong công tác cảnh báo ngập lụt đô thị.

Tại TCVN 7957:2023 nói về các bước thực hiện tính toán thủy lực hệ thống thoát nước mưa nói chung, mô hình thủy lực được sử dụng ở bước 2 nhằm kiểm tra kết quả tính toán ở bước 1. Dựa trên các mô hình thoát nước mưa được phân tích xem xét ở trên, nghiên cứu kiến nghị sử dụng mô hình hệ thống thoát nước một chiều trong cống (cụ thể mô hình SWMM hoặc CUHP) trong bài toán tính toán thiết kế ứng với tần suất thiết kế cho trước. Trong bài toán thiết kế có xét tới chi phí và lợi ích, mô hình thoát nước một chiều trong cống và chảy tràn hai chiều (cụ thể là mô hình PC SWMM và MIKE FLOOD trong đó mô hình MIKE URBAN mô phỏng dòng chảy một chiều trong hệ thống cống) nên được sử dụng để lựa chọn tần suất thiết kế cũng như giải pháp phù hợp.

4.5. Ứng dụng phần mềm SWMM để tính toán thoát nước mưa

4.5.2. Giới thiệu phần mềm SWMM

Mô hình toán SWMM (Storm Water Management Model) là mô hình động lực học mô phỏng mưa – dòng chảy cho các khu vực đô thị cả về chất và lượng, và tính toán quá trình chảy tràn từ mỗi lưu vực bộ phận đến cửa nhận nước của nó.

Mô hình vừa có thể mô phỏng cho từng sự kiện (từng trận mưa đơn lẻ), vừa có thể mô phỏng liên tục.

Mô hình này do Metcalf và Eddy xây dựng năm 1971, là sản phẩm của 1 hợp đồng kinh tế giữa trường ĐH Florida và tổ chức bảo vệ môi trường Hoa kỳ EPA (Storm Water Management Model User's Manual Version 5.2).

Khi mới ra đời mô hình chạy trên môi trường DOS. Mô hình liên tục được cập nhập và phiên bản mới nhất là SWMM 5.0 chạy trên môi trường WINDOWS. Phiên bản mới này được viết lại bởi một bộ phận trong phòng thí nghiệm nghiên cứu Quản lý rủi ro Quốc gia của EPA.

4.5.3. Khả năng của phần mềm SWMM

Mô hình SWMM là một mô hình toán học toàn diện, dùng để mô phỏng khối lượng và tính chất dòng chảy đô thị do mưa và hệ thống cống thoát nước thải chung. Mọi vấn đề về thủy văn đô thị và chu kỳ chất lượng đều được mô phỏng, bao gồm dòng chảy mặt và dòng chảy ngầm, vận chuyển qua mạng lưới hệ thống tiêu thoát nước, hồ chứa và khu xử lý.

Mô hình SWMM mô phỏng các dạng mưa thực tế trên cơ sở lượng mưa (biểu đồ quá trình mưa hàng năm) và các số liệu khí tượng đầu vào khác cùng với hệ thống mô tả (lưu vực, vận chuyển, hồ chứa/xử lý) để dự đoán các trị số chất lượng và khối lượng dòng chảy.

Mục đích ứng dụng mô hình toán SWMM cho hệ thống thoát nước được triển khai nhằm:

- Xác định các khu vực cần xây mới hoặc mở rộng cống thoát nước để giảm tình trạng ngập lụt đường phố hoặc cung cấp dịch vụ thoát nước thải cho những khu vực mới phát triển.
- Ước tính lưu lượng nước lũ trong kênh và các chi lưu để xác định vị trí của kênh cần cải thiện nhằm giảm thiểu tình trạng tràn bờ.
- Cung cấp công cụ quy hoạch để đánh giá việc thực hiện các cống chắn dòng dọc kênh.

Những ứng dụng điển hình của SWMM:

- Quy hoạch hệ thống thoát nước mưa.
- Quy hoạch ngăn tràn cống chung.
- Quy hoạch hệ thống thoát nước lũ ở kênh hở.
- Quy hoạch cống ngăn lũ.
- Quy hoạch hồ chứa phòng lũ.

4.5.4. Các thuật toán của SWMM

Cơ sở toán học của SWMM gồm 2 modul chính (Tổng Đình Quyết, Triệu Ánh Ngọc và nnk, 2008):

- Modul Runoff trong SWMM là modul tính dòng chảy từ mưa, các chất ô nhiễm trên các lưu vực.

- Modun Transport trong SWMM diễn toán dòng chảy trên / trong hệ thống các đường ống, kênh dẫn, các hồ điều hòa, trạm bơm, trạm xử lý của hệ thống tiêu thoát nước đô thị.

SWMM cho phép tính toán dòng chảy cả về chất và lượng trong từng lưu vực con, tốc độ chảy, chiều sâu chảy, chất lượng nước trong từng đoạn ống cống, kênh dẫn trong quá trình mô phỏng bao gồm nhiều bước thời gian.

4.6. Ứng dụng phần mềm MIKE để tính toán thoát nước mưa

4.6.1. Nguyên tắc chung

Các mô hình mô phỏng thoát nước mưa đô thị có khả năng mô phỏng và yêu cầu dữ liệu đầu vào khác nhau. Vì vậy, trước khi tiến hành thực hiện mô hình cần thực hiện lựa chọn mô hình tính toán cho phù hợp căn cứ vào kết quả đầu ra, yêu cầu dữ liệu đầu vào, các giả thiết của mô hình, phạm vi áp dụng và độ tin cậy của mô hình, tính đơn giản hay phức tạp của mô hình và khả năng xác định các thông số, nguồn tài chính và thời gian thực hiện cho phép cũng như sự thân thiện với người sử dụng. Sau khi lựa chọn được mô hình phù hợp, bốn bước sau đây sẽ lần lượt được thực hiện. Đối với bài toán tính toán thiết kế hệ thống mới thì bước thứ 3 được bỏ qua.

Thu thập, phân tích và xử lý số liệu

Mô hình thoát nước gồm có hai mô đun là mô đun thủy văn và mô đun thủy lực trong đó kết quả đầu ra của mô đun thủy văn là đầu vào của mô đun thủy lực. Tùy thuộc vào phương pháp được áp dụng trong các mô đun mà số liệu đầu vào sẽ khác nhau. Các dữ liệu cơ bản được trình bày trong bảng Bảng 4.2. Các dữ liệu được thu thập từ nhiều nguồn khác nhau và được lưu trữ dưới nhiều định dạng khác nhau như raster, vector, dạng bảng, bản vẽ autocad. Trong đó, một số dữ liệu cần phải phân tích, xử lý trước khi sử dụng. Ví dụ như xây dựng mô hình mưa thiết kế, số hóa sơ đồ hệ thống thoát nước hay xử lý ảnh vệ tinh để xác định được tỉ lệ diện tích thấm và không thấm.

Bảng 4.2 Các dữ liệu đầu vào cho mô hình thoát nước đô thị

STT	Loại dữ liệu	Ý nghĩa
1	<i>Dữ liệu khí tượng</i>	
1.1	Vị trí các trạm đo mưa và lượng mưa	Tính toán dòng chảy từ mưa trên các tiểu lưu vực
2	<i>Dữ liệu thủy văn</i>	
2.1	Mực nước hoặc lưu lượng tại cửa ra của các tiểu lưu vực	Hiệu chỉnh và kiểm định mô đun thủy văn
2.2	Mực nước hoặc lưu lượng tại một số hồ ga hệ thống thoát nước	Hiệu chỉnh và kiểm định mô đun thủy lực

STT	Loại dữ liệu	Ý nghĩa
2.3	Mức nước trên sông	Hiệu chỉnh và kiểm định mô đun thủy lực (1D trong sông) hoặc thiết lập giá trị biên tại cửa xả
2.4	Độ sâu ngập lụt tại các điểm ngập	Hiệu chỉnh và kiểm định mô đun thủy lực
3	<i>Dữ liệu địa hình</i>	
3.1	Bản đồ số họa độ cao hoặc bình đồ	Phân chia tiểu lưu vực và lập lưới tính toán cho vùng ngập
3.2	Mạng lưới sông, tên sông	Thiết lập sơ đồ hệ thống thoát nước
4	<i>Dữ liệu sử dụng đất</i>	
4.1	Bản đồ sử dụng đất	Xác định thông số cho mô đun thủy văn
5	<i>Dữ liệu đất</i>	
5.1	Bản đồ đất	Xác định thông số cho mô đun thủy văn
5.2	Độ ẩm đất	
6	<i>Dữ liệu về hệ thống đường giao thông</i>	
6.1	Bản đồ đường giao thông	Phân chia tiểu lưu vực và xác định vùng ngập
6.2	Cao độ của mặt đường	Phân chia tiểu lưu vực và xác thiết lập sơ đồ hệ thống thoát nước
7	<i>Dữ liệu về hệ thống thoát nước</i>	
7.1	Sơ đồ hệ thống	Thiết lập sơ đồ hệ thống thoát nước
7.2	Thông số của các thành phần trong hệ thống như cao trình đáy, cao trình đỉnh, chiều dài cống, hình dạng và kích thước cống, hình dạng và kích thước hố ga, độ sâu đáy hố ga	Thiết lập sơ đồ hệ thống thoát nước

Thiết lập mô hình

Khu vực nghiên cứu được thiết lập trong mô hình với việc thiết lập mạng lưới thoát nước. Tùy thuộc vào các yếu tố được xem xét trong mô hình mà việc thiết lập mô hình thủy lực một chiều trong sông, thiết lập mô hình thủy lực hai chiều mô phỏng các khu ngập hay thiết lập mô hình kết nối có thể được thực hiện hay không.

Mạng lưới thoát nước được thiết lập từ các dữ liệu được thu thập (kích thước và hình dáng hệ thống thoát nước, cao độ hệ thống thoát nước, cao độ cửa ra của hệ thống thoát nước, mực nước tại điểm tiếp nhận nước từ hệ thống thoát nước khu vực, thu thập vết lũ trên khu vực

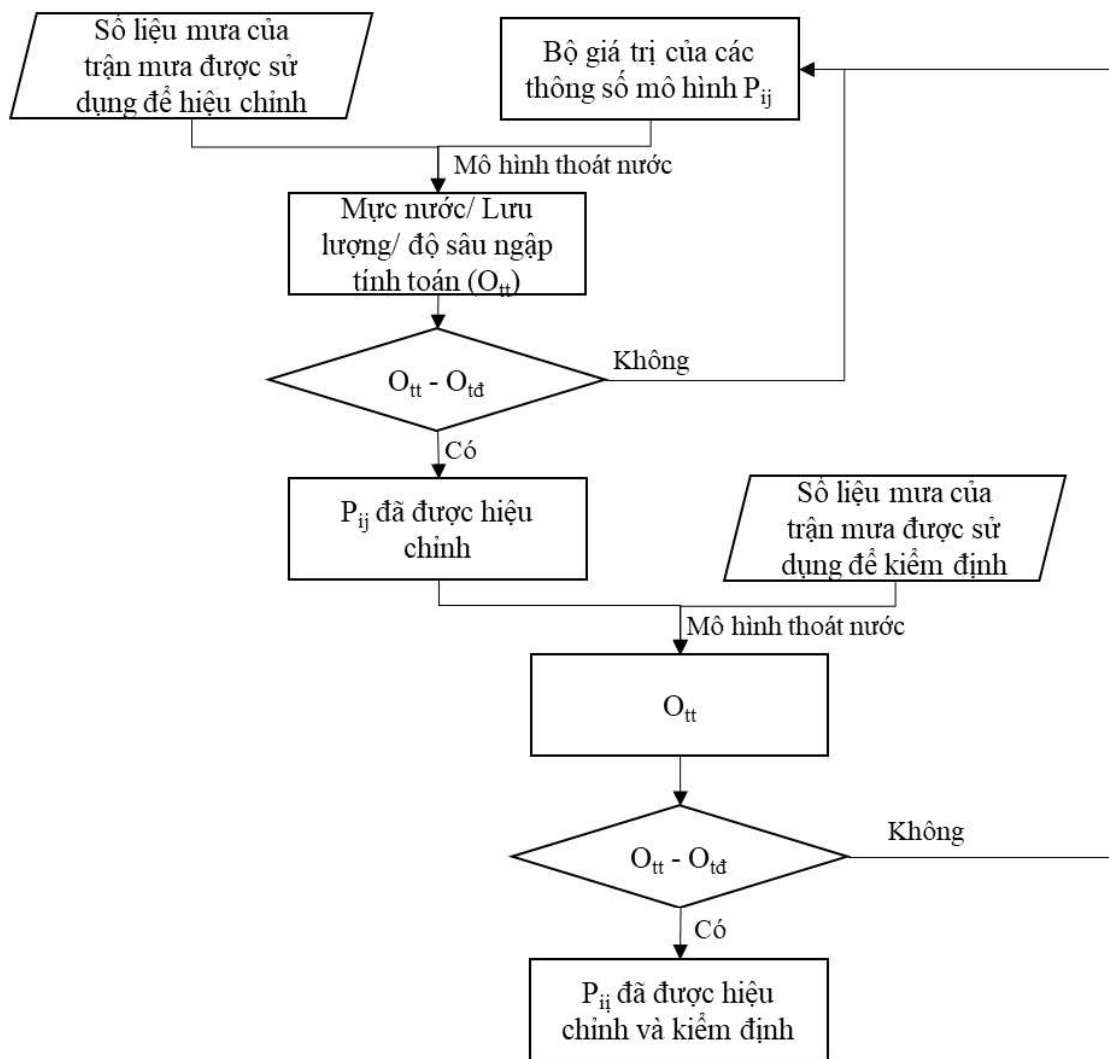
nguyên cứu...), tiến hành lọc và loại bỏ các dữ liệu cực đoan như các tuyến cống nhỏ, không đủ số liệu... Đồng nhất hệ tọa độ và lựa chọn đơn vị hệ thống. Sau khi tổng hợp bộ dữ liệu hoàn chỉnh sử dụng mô hình để mô phỏng tính toán quá trình mưa-dòng chảy, hệ thống cống và hồ ga thu nước, sau đó kết nối kết quả thu được với lưới phi cấu trúc (nếu có) tạo nên từ dữ liệu địa hình khu vực nghiên cứu để mô phỏng tình hình ngập úng cho khu vực nghiên cứu. Các thành phần lần lượt được đưa vào hệ thống bao gồm:

- Tạo các nút tính toán;
- Kết nối các nút;
- Thiết lập các tiêu lưu vực hứng nước.

Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình (trong trường hợp hệ thống đang vận hành)

Giá trị của các thông số trong các phương trình toán mô tả quá trình thủy văn, thủy lực không phải lúc nào cũng được xác định từ việc đo đạc ngoài thực địa. Do đó, việc hiệu chỉnh và kiểm định các thông số của mô hình nhằm xác định lại các giá trị của các thông số này để đảm bảo sự tin cậy trong việc ứng dụng tính toán (Vũ Thanh Tú và cs, 2023).

Thông thường để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình thường áp dụng theo phương pháp thử sai (thử dần) và tối ưu hóa (dò tìm tự động) (Vũ Thanh Tú và cs, 2023). Trong bước này để đảm bảo độ tin cậy và xác định các thông số với những nhận định chủ quan, quá trình hiệu chỉnh và kiểm định phải được kết hợp một cách có hệ thống với thử nghiệm xác nhận và đánh giá kết quả của mô hình trên một tập dữ liệu độc lập). Kết quả của mô hình phải được đánh giá, bằng cách so sánh giữa giá trị mực nước, lưu lượng hay độ sâu ngập tại các vị trí quan trắc và giá trị tính toán được thông qua mô phỏng hoặc bằng cách áp dụng các tiêu chí toán học để tính toán sai lệch giữa đại lượng được quan trắc và mô phỏng như chỉ số Nash Suffet, sai số quân phương, sai số tuyệt đối bình quân. Các đánh giá trực quan và toán học có thể khác nhau và tạo ra các chẩn đoán khác nhau về chất lượng và hiệu quả của mô hình.



Hình 4.51. Sơ đồ thực hiện hiệu chỉnh và kiểm định mô hình thoát nước đô thị

Mô phỏng các kịch bản tính toán

Sau khi bộ thông số của mô hình đã được hiệu chỉnh và kiểm định, mô hình có thể được sử dụng để mô phỏng các kịch bản tính toán. Các kịch bản thường xem xét bao gồm các kịch bản thay đổi về mưa, tỉ lệ diện tích đất thấm và không thấm, các thành phần trong hệ thống thoát nước. Các thay đổi này sẽ được cập nhật trong mô hình và tiến hành thực hiện mô phỏng. Sau khi thực hiện mô phỏng, ảnh hưởng của các yếu tố sẽ được đánh giá thông qua việc so sánh kết quả giữa các mô phỏng.

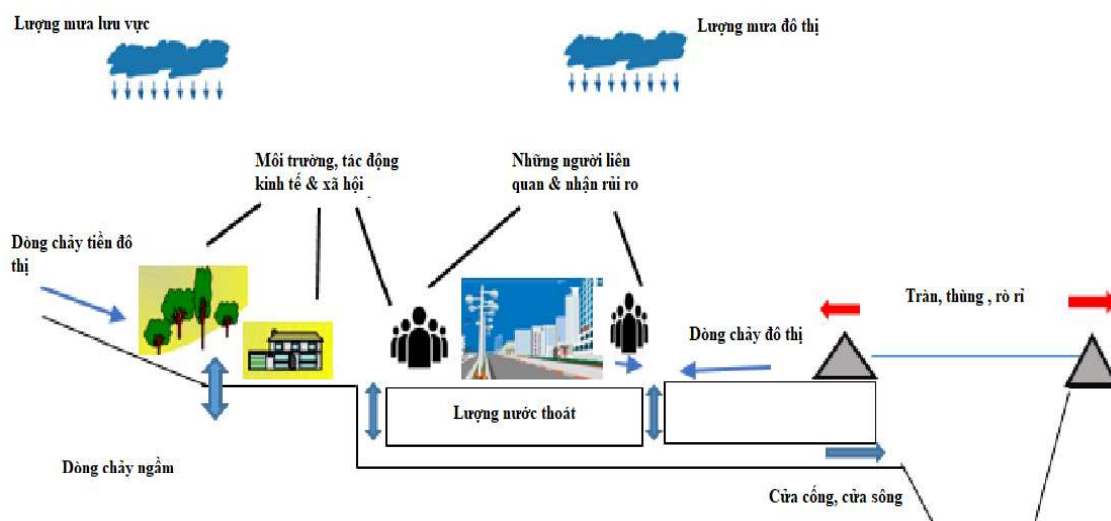
4.6.2. Phần mềm MIKE FLOOD

Giới thiệu chung về phần mềm

Mô hình MIKE FLOOD (MF) nằm trong bộ mô hình MIKE. Mô hình MF liên kết giữa các mô hình 1 chiều và 2 chiều trong bộ mô hình MIKE (DHI, 2014). Trong mô hình mô phỏng thoát nước đô thị, MF có thể liên kết giữa 2 mô hình MIKE URBAN (MU) và MIKE 21 hay giữa 3 mô hình MU, MIKE 11 và MIKE 21. Trong nghiên cứu này, mô hình MU sẽ được kết hợp với mô hình MIKE 21 trong mô hình MF.

Mô hình MIKE URBAN

Mô hình MU có một hệ thống linh hoạt để mô hình hóa và thiết kế, tính toán toàn bộ mạng lưới hệ thống thoát nước và hệ thống thu gom nước thải, nước mưa trong thành phố bao gồm một hệ thống thoát thải gộp hoặc riêng biệt. MU dựa trên cơ sở dữ liệu mạng cũng như dữ liệu mô hình thủy lực, tích hợp với hệ thống kho lưu trữ riêng cho dữ liệu GIS và quản lý cơ sở dữ liệu này bằng nhiều dạng khác nhau như: MDB (Access), GDB (ArcGis)... (DHI, 2017).



Hình 4.52. Sơ đồ tính toán thủy văn - thủy lực trong MIKE URBAN

Nghiên cứu này sử dụng mô hình MIKE MOUSE (MOdel for Urban Sewers) bao gồm mô hình mưa – dòng chảy MIKE NAM và mô hình thủy lực MIKE URBAN để mô phỏng và tính toán.

a) Mô hình thủy văn

Mô hình thủy văn mô phỏng dựa trên các phương trình tính toán thủy văn, dòng chảy trên lưu vực được tính toán từ mưa dựa trên các đặc trưng của lưu vực.

Dựa vào vị trí phân bố hồ ga thu nước để phân chia tiểu lưu vực của MIKE URBAN, kết hợp với điều tra khảo sát thực địa, xác định được tỉ trọng ảnh hưởng của các trạm đo tới các tiểu lưu vực bằng phương pháp đa giác Thiessen.

Từ số liệu mưa kết hợp với tỉ trọng đóng góp của các trạm mưa ảnh hưởng tới lưu vực, mô hình dựa vào các phương trình tính toán thủy văn cơ bản để mô phỏng quá trình dòng chảy ứng với từng tiểu lưu vực riêng biệt, làm đầu vào cho mô hình mạng lưới thoát nước.

Trong MU cho phép mô phỏng mưa dòng chảy bằng một số các phương pháp khác nhau trong đó có phương pháp căn nguyên dòng chảy kết hợp với mô hình NAM (Time-Area curve + RDI) đã được sử dụng (DHI, 2019). Trong đó, công thức căn nguyên dòng chảy được sử dụng để tính toán cho phần diện tích không thấm và mô hình NAM được sử dụng để tính toán dòng chảy cho phần diện tích đất thấm.

b) Mô hình thủy lực dòng chảy trong cống 1 chiều

Dòng chảy trong hệ thống cống được diễn toán bằng cách giải hệ phương trình Saint Venant (DHI, 2019):

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q_{lat} \quad \text{Eq. 4}$$

Phương trình động lượng:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha Q^2}{A} \right) + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} - S_o \right) + g \frac{AQ|Q|}{K^2} = 0 \quad \text{Eq. 5}$$

Trong đó: Q là lưu lượng (m³/s), A là diện tích mặt cắt ướt (m²); x là khoảng cách (m); y là độ sâu dòng chảy (m); g là gia tốc trọng trường (m/s²); S_o là độ dốc lòng sông (-) và S_f là độ dốc ma sát (-).

Chuẩn bị số liệu đầu vào

Các số liệu đầu vào của mô hình gồm có:

- Số liệu mưa thời đoạn ngắn (10 phút) của các trận mưa cần mô phỏng
- Bản đồ quy hoạch chi tiết khu vực nghiên cứu
- Bản vẽ thiết kế hệ thống thoát nước

Thiết lập mô hình

a) Tạo các nút tính toán

Hố ga là nơi thu nước từ các tiểu lưu vực bộ phận. Trong mô hình MOUSE mỗi hố ga được xem như là một nút trong hệ thống. Các dữ liệu mô tả nút tính toán bao gồm: Vị trí nút (tọa độ X,Y), loại nút (ga thu, hồ chứa, miệng xả...), độ sâu cống, loại cống và kích thước của các hố ga (đường kính). Dữ liệu mô tả đường ống trong mô hình thể hiện loại cống (cống hộp, cống có áp và không áp, hình tròn, kênh hở...), cao độ của cống, kích thước cống.

b) Kết nối các nút

Nơi nước lưu chuyển sau khi vào hố ga. Các nút được kết nối với nhau bởi các đường cống. Số liệu mô tả cống bao gồm: kích thước cống (độ dài, đường kính,...), độ dốc, kết nối từ nút nào đến nút nào hay từ nút ra các cửa ra lưu vực. Hướng dòng chảy trong cống chảy theo địa hình, chảy từ thể nước cao sang thể nước thấp ra cửa cống rồi đổ ra sông, kênh.

c) Thiết lập các tiểu lưu vực hứng nước

Lưu vực thu nước là nơi tiếp nhận nước từ quá trình mưa hay quá trình chảy tràn. Mỗi lưu vực sẽ đổ nước vào một cống duy nhất theo nguyên tắc mô hình MOUSE. Trong MIKE URBAN, mức độ địa lý của một lưu vực được xác định bởi chu vi lưu vực tam giác.

Mỗi lưu vực sẽ được đặc trưng bởi hệ số không thấm nước. Hệ số này sẽ được tính dựa vào hiện trạng lớp nhà, đường giao thông, cây xanh...

Về mặt lý thuyết các lưu vực bộ phận được phân chia theo nguyên tắc sau: (i) Căn cứ vào diễn biến cao độ các điểm trên bản đồ địa hình. Bản đồ có tỷ lệ càng lớn, mức độ tin cậy càng lớn, (ii) Căn cứ vào phân nhánh của hệ thống sông, kênh, cống, (iii) Căn cứ vào hệ thống đường giao thông, (iv) Căn cứ điều tra hướng chảy lũ trong các trận lũ thực.

Tuy nhiên trên thực tế MIKE URBAN đã xây dựng công cụ phân chia tiểu lưu vực dựa vào những tiêu chí cơ bản đó giúp cho việc phân chia lưu vực bộ phận chính xác và nhanh chóng hơn.

4.7. Đề xuất phương pháp tính toán thiết kế thoát nước mưa

4.7.1. Các bất cập trong tính toán hệ thống thoát nước mưa hiện nay

Số liệu sử dụng tính toán

Việc áp dụng phương pháp nào để tính toán sẽ liên quan đến yêu cầu sử dụng số liệu như thế nào. Về cơ bản, tiêu chuẩn quốc gia TCVN 7957:2023 – Thoát nước - Mạng lưới và công trình bên ngoài - Yêu cầu thiết kế đã đưa ra các bước tính toán thủy lực hệ thống thoát nước mưa (mục 4.1.8), các thông tin để có thể áp dụng để tính toán theo phương pháp thích hợp (mục 4.1.1÷4.1.15). Mặc dù, Tiêu chuẩn đã đề cập đến bước kiểm tra tính toán bằng mô hình thủy lực (mục 4.1.8), tuy nhiên các quy định để áp dụng trong tính toán mô hình thủy lực chưa được đề cập cụ thể, dẫn đến những khó khăn trong tính toán như sau:

- Chuỗi số liệu sử dụng trong tính toán mô hình, thiết kế trận mưa tính toán thường bao gồm các số liệu mưa và mực nước (triều hoặc sông), khi đó thì cần xác định chuỗi số liệu cần thông tin trong thời gian tối thiểu là bao nhiêu năm, thời gian quá trình mưa thiết kế trong bao lâu, thời đoạn mưa lựa chọn như thế nào, trong quãng thời gian bao nhiêu là phù hợp.

- Trong tính toán mô hình thủy lực, việc hiệu chỉnh và kiểm định mô hình là rất quan trọng, giúp hạn chế những thành phần thiếu chính xác trong dữ liệu khi xây dựng hệ thống thoát nước trong mô hình. Các số liệu cần thiết cho công tác hiệu chỉnh và kiểm định mô hình gắn liền với số liệu trận mưa tương ứng số liệu mực nước trên hệ thống thoát nước được mô phỏng. Do đó, cần có quy định cụ thể số lượng, tổng thời gian, bước thời gian của số liệu cần thiết sử dụng đảm bảo công tác hiệu chỉnh và kiểm định mô hình đạt hiệu quả và yêu cầu.

- Các số liệu sử dụng cho các đô thị đều xuất phát từ các trạm khí tượng, thủy văn hay các trạm quan trắc mực nước, cần có các nghiên cứu để đề xuất cụ thể số liệu mưa và mực nước tương ứng với các vùng có trạm khí tượng, thủy văn và hải văn thống nhất trong tính toán, hiệu chỉnh và kiểm định mô hình thủy lực tương tự như các thông số khí hậu đã được đưa ra trong Tiêu chuẩn TCVN 7957:2023 – Phụ lục A.

- Lưu vực tính toán mô hình thoát nước đô thị cần gắn với hệ thống tiêu nước của thủy lợi, thông qua số liệu có được và có thể áp dụng.

Định mức chi phí tư vấn lập mô hình thủy lực

Trong tính toán mô hình thủy lực hệ thống thoát nước mưa đô thị (công trình hạ tầng kỹ thuật) không có định mức hoặc các quy định chi phí tư vấn tính toán lập mô hình thủy lực. Trong khi đó, công việc tính toán bằng mô hình thủy lực mất nhiều thời gian và công sức.

Quy trình thẩm tra, thẩm định

Các khó khăn trong tính toán hệ thống thoát nước mưa đã đề cập ở trên khiến cho công tác thẩm tra, thẩm định mô hình thủy lực gặp khó khăn, bao gồm:

- Chưa có quy định cụ thể về số liệu đầu vào cho công tác lập mô hình thủy lực nên công tác thẩm tra, thẩm định thực hiện chủ yếu dựa trên kinh nghiệm của đơn vị thẩm tra.

- Công tác thẩm tra, thẩm định thường không có kinh phí cho việc xây dựng mô hình thủy lực, do đó cần có tiêu chí, yêu cầu cụ thể trong quy định làm cơ sở thẩm tra, thẩm định, cũng như các số liệu để áp dụng trong tính toán mô hình thủy lực cần được xây dựng đưa vào quy định cụ thể.

4.7.2. Đề xuất quy trình tính toán thoát nước mưa

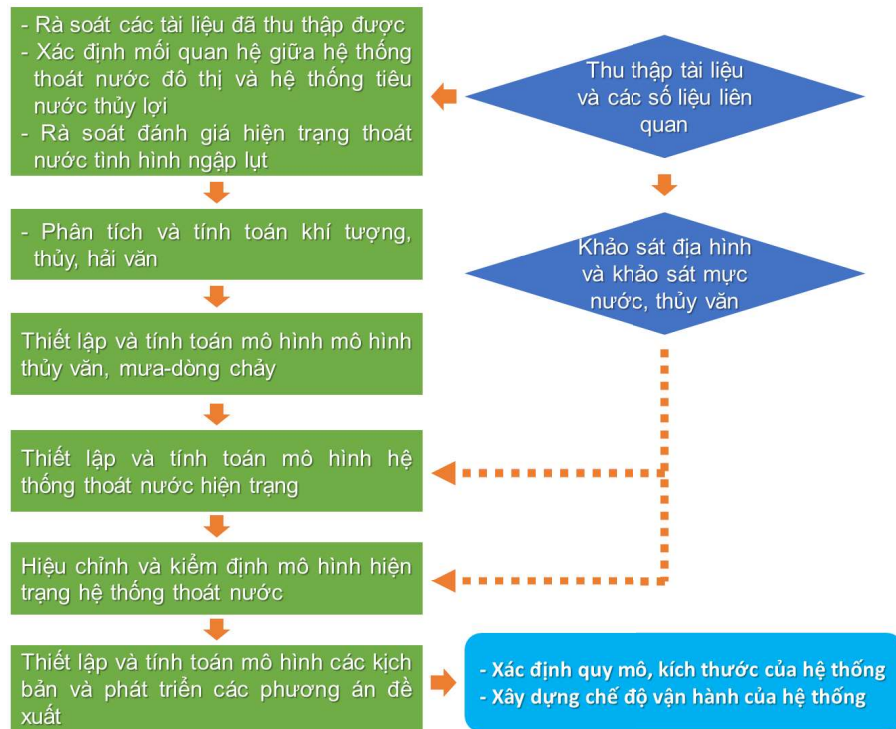
Các bước tính toán hệ thống thoát nước mưa cơ bản được nêu tại mục 4.1.8 – TCVN 7957:2023, bao gồm:

- Bước 1: Xác định sơ bộ kích thước công trình bằng phương pháp cường độ giới hạn hoặc phương pháp thích hợp;

- Bước 2: Kiểm tra kết quả tính toán ở bước 1 bằng mô hình thủy lực, nếu xét thấy cần thiết thì điều chỉnh kết quả ở bước 1.

Như vậy, bước tính toán sơ bộ bằng phương pháp thích hợp là phương pháp thông dụng và đã được sử dụng rộng rãi từ trước tới nay. Trong các trường hợp, khi hệ thống thoát nước chỉ có mạng lưới kênh, cống thoát nước và thoát nước theo hình thức tự chảy thì phương pháp tính toán này vẫn sử dụng phù hợp. Bước tính toán bằng mô hình thủy lực phát huy hiệu quả đối với hệ thống thoát nước có các thành phần công trình giữ nước/ điều hòa, điều tiết và trạm bơm nước mưa, tức là hệ thống thoát nước cưỡng bức.

Tính toán mô hình thủy lực hệ thống thoát nước mưa có thể thực hiện theo các bước như sau:



Hình 4.53. *Trình tự tính toán mô hình thủy lực hệ thống thoát nước mưa*

Dựa trên phân tích kết quả các mô phỏng được thực hiện, nghiên cứu đề xuất xem xét tính bất định do lựa chọn mô hình phân phối mưa trong tính toán thiết kế hệ thống thoát nước mưa và tiếp tục nghiên cứu ảnh hưởng của lựa chọn mô hình phân phối mưa với các trận mưa có chu kỳ lặp lại dài hơn.

Nhóm nghiên cứu cũng kiến nghị bổ sung một số nội dung sau vào tiêu chuẩn thiết kế thoát nước mưa: (i) hướng dẫn tính mưa thiết kế trong điều kiện biến đổi khí hậu; (ii) hướng dẫn cụ thể hơn các bước thực hiện mô phỏng bằng thủy lực; (iii) ngoài phương pháp tính toán cường độ mưa lớn nhất, các mô hình phân phối mưa cũng nên được đề cập đến trong phần phương pháp tính toán mưa thiết kế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

- (1) An, N. L., Linh, P. M., & Thuỷ, N. T. (2019). Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến đường quan hệ cường độ mưa – thời đoạn – tần suất và mô hình mưa thiết kế tại Hà Nội. *Tạp Chí Khoa Học Kỹ Thuật Thủy Lợi và Kỹ Thuật Môi Trường*, 67, 54–62.
- (2) Báo cáo NC khả thi xây dựng khu đô thị Hồng Hạc, TP Bắc Ninh
- (3) Bộ Tài nguyên Môi trường (2015). Dự thảo thông tư quy định quy trình quan trắc chất lượng nước mưa.
- (4) Bộ Tài nguyên và Môi trường (2022) Kịch bản Biến đổi Khí hậu.
- (5) Bộ Xây dựng (2010). Quy hoạch thoát nước Thành phố Cần Thơ.
- (6) Đặng Hòa Vĩnh, Phạm Thị Bích Thực, 2012. Nước mặn trên sông cô chiên và giải pháp khai thác nước ngọt phục vụ cung cấp nước sinh hoạt cho thành phố Trà Vinh. *Tạp chí Các khoa học về Trái Đất* số 34(1), 47-53.
- (7) Đinh Diệp Anh Tuấn, Lê Quang Trí, Nguyễn Xuân Hoàng, Nguyễn Hiếu Trung, Minh Nguyen, Stephen Cook, Luis Neumann, 2012. Giải pháp thu gom nước mưa phục vụ sinh hoạt tại vùng nông thôn và vùng ven biển Đồng bằng sông Cửu Long. *Hội thảo Khoa học xây dựng nông thôn mới ứng phó với BĐKH ở vùng ven biển ĐBSCL 08-2012*.
- (8) Đoàn Thu Hà (2013). Đánh giá hiện trạng cấp nước nông thôn vùng Đồng bằng sông Cửu Long và đề xuất giải pháp phát triển. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* - số 43 (12/2013).
- (9) GIZ. Hướng dẫn áp dụng thiết kế hệ thống thoát nước mưa đô thị theo hướng bền vững. *Sustainable Urban Drainage Systems Guidelines (SUDS)*. NXB Xây dựng. 2019.
- (10) H. N. T. Quang C N X, Giang N N H, Luân P D M H, Hưng P Q, “Ảnh hưởng của đô thị hóa đến quan hệ mưa - dòng chảy tràn: Nghiên cứu điển hình cho lưu vực Nhiêu Lộc-Thị Nghè, TP.Hồ Chí Minh,” *Sci. Tech. Dev. J. - Sci. Earth Environ.*, vol. 5, no. S11, pp. 147–155, 2021.
- (11) H. Thị Tố Nữ, Đ. Thanh Vũ, L. Văn Phụng, and C. Thu Văn, “Mô phỏng mức độ ngập và đề xuất giải pháp thoát nước chống ngập cho khu vực Văn Thánh – thành phố Hồ Chí Minh,” *Vietnam J. Hydrometeorol.*, vol. 716, no. 8, pp. 12–25, 2020.
- (12) Hà Xuân Ánh. (2023). Lựa chọn phân phối xác suất để xây dựng đường cong IDF cho tính toán hệ thống tiêu thoát nước mưa khu vực Hà Nội. *Xây Dựng*, 09, 82–89.
- (13) Han, M. Y., A. D. Đào and V. A. Nguyễn (2010). Thu gom và sử dụng nước mưa trong đô thị - Một vài kinh nghiệm Hàn Quốc. *Kí yếu Hội thảo Biến đổi khí hậu - Các vấn đề của Hà Nội*, Hà Nội.
- (14) Hesse, C., S. Dirk and W. Michael (2011). Sổ tay cho Nhà ở xanh: Các giải pháp Xây dựng thích ứng với khí hậu và hiệu quả với năng lượng. *Chương trình bảo tồn và hiệu quả năng lượng Quốc gia*
- (15) Hoàng Huệ. (2011). *Mạng lưới thoát nước*, NXB Khoa học và Kỹ thuật
- (16) Hồng, N. T. V., & Anh, N. T. (2018). Xây dựng công thức tính cường độ mưa thiết kế và bản đồ đẳng trị tham số vùng đồng bằng Bắc Bộ. *Tạp Chí Khoa Học Kỹ Thuật Thủy Lợi và Môi Trường*, 60, 48–57.

- (17)K. D. Nguyễn, P. N. Cao, T. N. Hà, T. T. Quách, Q. T. Nguyễn, and T. M. T. Nguyễn, “ThoatnuocTayHoTay.pdf,” Khí tượng Thủy văn, pp. 25–31, 2010.
- (18)Lê Anh Tuấn, Lê Quang Trí, Nguyễn Hiếu Trung, Lê Văn Dũ, Đinh Diệp Anh Tuấn, Hồng Minh Hoàng, Hoàng Thị Thủy, 2014. Nghiên cứu hiện trạng và đề xuất giải pháp cấp nước hộ gia đình cho vùng nông thôn ven biển tỉnh Sóc Trăng và Trà Vinh.
- (19)Lưu Nhật Linh. (2016). Tác động của biến đổi khí hậu đến mối quan hệ cường độ - thời gian - tần suất của mưa khu vực Hà Nội. Đại học Quốc Gia.
- (20)Nguyễn Hiếu Trung (Chủ biên), Đinh Diệp Anh Tuấn, Nguyễn Xuân Hoàng, Lê Quang Trí, Nguyễn Nguyên Minh, 2014. Hướng dẫn Kỹ thuật thu gom và sử dụng nước mưa ở vùng Đồng bằng Sông Cửu Long (Rainwater Harvesting Guidebook for the Mekong Delta), Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên và Viện Nghiên cứu Biến đổi Khí hậu (DRAGON Institute – Mekong), Trường Đại học Cần Thơ.
- (21)Nguyễn Hồng Thái và Nguyễn Hữu Hưởng, 2011. Nguồn nước mưa và khả năng khai thác sử dụng tại huyện đảo Phú Quý tỉnh Bình Thuận. Tạp chí khí tượng Thủy văn.
- (22)Nguyễn Khoa Trường, Nguyễn Quang Hiếu, Võ Thanh Sơn, Trần Lê Quyên, Võ Ngọc Thái Như (2014). Nghiên cứu đánh giá khả năng tái sử dụng nước mưa tại hộ gia đình ở Thành phố Hồ Chí Minh.
- (23)Nguyễn Thành Đại. Đồ án thiết kế tốt nghiệp ngành Cấp thoát nước, trường Đại học Xây dựng Hà Nội, 2021.
- (24)Nguyễn Trọng Quân, Phạm Thị Thảo Nhi, & Đào Nguyên Khôi. (2017). Đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến mối liên hệ cường độ - chu kỳ - tần suất (IDF) của mưa cực đoan tại trạm Tân Sơn Hòa. Tạp Chí Khí Tượng Thủy Văn, 10, 7–14.
- (25)Nguyễn Việt Anh (2009). "Thoát nước đô thị bền vững." Tạp chí Xây dựng.
- (26)Nguyễn Viết Tường Vũ (2013). Nghiên cứu tiếp cận thoát nước bền vững để cải tạo hệ thống thoát nước cho lưu vực Nam Nhiêu Lộc Thị Nghè - TP Hồ Chí Minh. Thạc Sĩ, Đại học Xây dựng.
- (27)Sở Xây dựng Sóc Trăng (2011). Điều chỉnh quy hoạch chung Thành phố Sóc Trăng đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050.
- (28)T. L. A. Tran, Phát triển đô thị Việt Nam – những vấn đề đặt ra trong giai đoạn tới, 2022.
- (29)TCVN 13615 - 2022 Tiêu chuẩn tính toán các đặc trưng thủy văn thiết kế công trình. (2022).
- (30)TCVN 7957-2008 Thoát nước - mạng lưới và công trình bên ngoài - tiêu chuẩn thiết kế, (2008).
- (31)Thắng, N. V. (2017). Nghiên cứu xây dựng đường cong IDF cho các vùng mưa thuộc miền bắc Việt Nam. Tạp Chí Khí Tượng Thủy Văn, 678(6), 10–17.
- (32)Thông tư 32/2011/TT-BTNMT của Bộ Tài nguyên Môi trường về Quy trình kỹ thuật quan trắc chất lượng nước mưa.
- (33)Tống Đình Quyết, Lê Thị Thanh Trúc, Đặng Xuân Dũng. Ứng dụng phần mềm SWMM tính toán thoát nước mưa, nước thải cho khu tái định cư xã Vĩnh Lộc B, huyện Bình Chánh, TP. Hồ Chí Minh. Trường Đại học Thủy lợi – cơ sở 2. Đề tài NCKH sinh viên. GVHD: Triệu Ánh Ngọc. 2008.
- (34)Trần Chí Liêm, 2002. Bước đầu đánh giá chất lượng nước mưa tại 3 huyện An biên, Hòn đất và Tân hiệp tỉnh kiên giang. Y học thực hành.

- (35)Viện Khoa học Thủy lợi (2011). "Công nghệ thu gom và lưu trữ nước phục vụ tưới cây ăn quả và chống xói mòn trên đất dốc."
- (36)Viện Khoa học Thủy lợi (2011). "Công nghệ thu gom và lưu trữ nước phục vụ tưới cây ăn quả và chống xói mòn trên đất dốc."
- (37)Vũ Thanh Tú, Ngô Lê An, Hoàng Thanh Tùng, Nguyễn Hoàng Sơn, Nguyễn Thanh Thủy, Nguyễn Thị Thu Nga, Giáo trình Mô hình toán thủy văn. Hà Nội: Bách khoa Hà Nội, 2023.

Tiếng Anh:

- (38)Agusa, T., P. T. K. Trang, V. M. Lan, D. H. Anh, S. Tanabe, P. H. Viet and M. Berg (2014). "Human exposure to arsenic from drinking water in Vietnam." *Science of The Total Environment* 488-489: 562-569.
- (39)Ahmed, W., Gardner, T., Toze, S., 2011. Microbiological Quality of Roof-Harvested Rainwater and Health Risks: A Review, *J. Environ. Qual.* 40, 13–21.
- (40)Akan A. O. and Houghtalen R. J. (2003). *Urban Hydrology, Hydraulics, and Stormwater Quality: Engineering Applications and Computer Modeling*. John Wiley & Sons INC, New York.
- (41)American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF), 1995. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington, DC.
- (42)American Society of Civil Engineers (1993). *Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems*. ASCE, New York.
- (43)Amin M. T. & Han M. Y. (2009). Roof-harvested rainwater for potable purposes: Application of solar collector disinfection (SOCO-DIS). *Water Research*, 43(20), 5225-5235.
- (44)Amin, M. T. & Han, M., 2009 Water environmental and sanitation status in disaster relief of Pakistan's 2005 earthquake. *Desalination*. 252, 19-28. DOI:10.1016/j.desal.2008.05.085.
- (45)Amin, M. T. & Han, M., 2011 Improvement of solar based rainwater disinfection by using lemon and vinegar as catalysts. *Desalination*. 276(1-3), 416-423. DOI:10.1016/j.desal.2011.03.076.
- (46)An K. J. et al. (2011). Evaluation of rainwater utilization for miscellaneous water demands in different types of building using GIS. *Proceedings in The 3rd IWA – RWHM conference and exhibition*, Goseong, Korea.
- (47)Arabi, R. (2015). A consideration for plant selection in greenroofs, *University Putra Malaysia. Alam Cipta Vol 8, Special Issue 3*, 2015.
- (48)Ariyananda, T. 2005. Rainwater as safe drinking water. *Tokyo asia pacific sky water forum*, Japan.
- (49)AUS SPEC, 2011, 0074 Stormwater drainage (Design). nsw.gov.au.
- (50)Australia Government (2012). *Water for Future: Choosing the right sized rainwater tank*
- (51)Australian Government Department of Health. 2011. *Guidance on use of rainwater tanks*. 2011. <https://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/>.
- (52)Bernard, M. M. (1932). Formulas For Rainfall Intensities of Long Duration. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 96(1), 592–606. <https://doi.org/10.1061/TACEAT.0004323>

- (53) Bibi T. S., Kara K. G., Bedada H. J., and Bededa R. D., Application of PCSWMM for assessing the impacts of urbanization and climate changes on the efficiency of stormwater drainage systems in managing urban flooding in Robe town, Ethiopia, *J. Hydrol. Reg. Stud.*, vol. 45, p. 101291, 2023.
- (54) Boonya-Aroonnet S., Weesakul S., and Mark O., Modeling of urban flooding in Bangkok, *Glob. Solut. Urban Drain.*, vol. 40644, no. September, pp. 1–14, 2002.
- (55) Bui T. T., Nguyen V-A., Le T. B., Trinh V. H., Dao A. D. and Han M. Y. (2015). Hydrological performance evaluation of surface runoff in University campus for flood mitigation. *Journal of Vietnam Academy Science and Technology* 3A: 145 - 150.
- (56) Bui, T. T., D. C. Nguyen, M. Han, M. Kim and H. Park (2020). "Rainwater as a source of drinking water: A resource recovery case study from Vietnam." *Journal of Water Process Engineering*: 101740. doi:/10.1016/j.jwpe.2020.101740.
- (57) Bulti D. T. and Abebe B. G., A review of flood modeling methods for urban pluvial flood application, *Model. Earth Syst. Environ.*, vol. 6, no. 3, pp. 1293–1302, 2020.
- (58) Burlando, P. and Rosso, R. (1996) Scaling and multiscaling models of depth-duration-frequency curves for storm precipitation, *Journal of Hydrology*, 187(1–2), pp. 45–64. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(96\)03086-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(96)03086-7).
- (59) Burlando, P., & Rosso, R. (1996). Scaling and multiscaling models of depth-duration-frequency curves for storm precipitation. *Journal of Hydrology*, 187(1–2), 45–64. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(96\)03086-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(96)03086-7)
- (60) Clark C. O. (1945). Storage and the unit hydrograph. *Transaction of the American Society of Civil Engineers*, 110, 1419–1446.
- (61) Contra Costa County Flood Control and Water Conservation district, 2017, Rainfall Intensity-Duration-Frequency (IDF) Curves.
- (62) Cullis, P. a. (1986). Rainwater harvesting. I. P. London, IT Publication London.
- (63) Cunliffe, D. A. 1998. Guidance on the use of rainwater tanks. National Environmental Health Forum. 8
- (64) Chen C. L., 1983, Rainfall intensity-duration-frequency formulas, *ASCE J. Hydraulic Eng.*, 109, 1603–1621.
- (65) Chow V.T, Maidment D.R., *Applied Hydrology*, 1998.
- (66) Chow, V. Te, Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill.
- (67) Dao, A. D., D. C. Nguyen and M. Y. Han (2017). Design and operation of a rainwater for drinking (RFD) project in a rural area: case study at Cukhe Elementary School, Vietnam. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, 7 (4): 651-658.
- (68) David M. Hershfield. (1961). Rainfall frequency Atlas of the United States for durations from 30 minutes to 24 hours and return periods from 1 to 100 Years.
- (69) Deka D. and Das B. M., Simulation of Drainage System Using Storm Water Management Model (SWMM 5.1), December, 2022.
- (70) Denault, C., Millar, R. G., & Lence, B. J. (2006). Assessment of possible impacts of climate change in an urban catchment. *Journal of the American Water Resources Association*, 42(3), 685–697. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2006.tb04485.x>
- (71) Department of Health, Australia (2011). Guidance on use of rainwater tank.

- (72) Despins, C., Farahbakhsh, K., Leidl, C. (2009). Assessment of rainwater quality from rainwater harvesting systems in Ontario, Canada. *Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua* 58(2): 117-134.
- (73) Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Arbeitsblatt DWA-A 117: Bemessung von Regenrückhalteräumen, 2013.
- (74) Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Arbeitsblatt DWA-A 138-1: Anlage zur Versickerung von Niederschlagswasser - Teil 1: Planung, Bau, Betrieb, 2021.
- (75) DHI, MIKE FLOOD 1D-2D modeling user manual, 2014.
- (76) DHI, MIKE URBAN Tutorials, p. 232, 2017.
- (77) DHI, Modelling of storm water drainage networks and sewer collection systems. User guide, 2019.
- (78) Dillaha, T. A. & Zolan, W. J. 1985 Rainwater catchment water quality in Micronesia. *Wat. Res.* 19, 741–746.
- (79) Dobrowsky, P. H., De Kwaadsteniet, M., Cloete, T. E., & Khan, W. 2014 Distribution of Indigenous Bacterial Pathogens and Potential Pathogens Associated with Roof-Harvested Rainwater. *Applied and Environmental Microbiology*. 80(7), 2307–2316. DOI: 10.1128/AEM.04130-13.
- (80) Dym C, Principles of Mathematical Modeling, Second Edi. Oxford: Elsevier Academic Press, 2004.
- (81) Evans, C. A., Coombes, P. J., Dunstan, R. H. & Harrison, T. 2009 Extensive bacterial diversity indicates the potential operation of a dynamic micro-ecology within domestic rainwater storage systems. *Science of the Total Environment* 407, 5206–5215.
- (82) Forster, J. 1991. Roof runoff pollution. In: M. Grottker, W. Schilling, editors. *Processings of second European junior scientist workshop*, Kastienbaum, Switzerland, pp. 145-158.
- (83) Furumai H. (2012). Significance of rainwater and reclaimed water as urban water resource for sustainable use. University of Tokyo.
- (84) Gould, J. and Nissen-Peterson E. (1999). *Rainwater catchment systems for domestic supply: design, construction and implementation*. London, Intermediate Technology Publications.
- (85) Gould, J. E. 1999. Is rainwater safe to drink? A review of recent findings. In *Proc. Ninth International Rainwater Catchment Systems Conference*.
- (86) Government of the Hong Kong, Special Administrative Region, 2018, *Stormwater drainage manual*.
- (87) Gugliotta, M., Y. Saito, V. L. Nguyen, T. K. O. Ta, R. Nakashima, T. Tamura, K. Uehara, K. Katsuki and S. Yamamoto (2017). "Process regime, salinity, morphological, and sedimentary trends along the fluvial to marine transition zone of the mixed-energy Mekong River delta, Vietnam." *Continental Shelf Research* 147: 7-26.
- (88) Gumbel, E.J. (1958) *Statistics of Extremes*. Columbia University Press. Available at: <https://doi.org/10.7312/gumb92958>.
- (89) Gupta, V. K., & Waymire, E. (1990). Multiscaling properties of spatial rainfall and river flow distributions. *Journal of Geophysical Research*, 95(D3), 1999. <https://doi.org/10.1029/JD095iD03p01999>
- (90) Gikas, G. D., Tsihrintzis, V. A., 2012. Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested rainwater, *Journal of Hydrology*. 466–467, 115–126.

- (91)Haestad M. and Durrans S. R. (2003). Stormwater Conveyance Modeling and Design 1st edition. Haestad Press.
- (92)Han et al. (2012). Rainwater harvesting for tourism facilities: a case study for Danghangpo tourist resort at Goseong, South Korea. Proceedings in The 3rd IWA – RWHM conference and exhibition, Goseong, Korea.
- (93)Han M. and Nguyen D. C. (2018). Hydrological Design of Multipurpose Micro-catchment Rainwater Management. Water Intelligence Online 17.
- (94)Han, M. and D. C. Nguyen (2018). Hydrological Design of Multipurpose Micro-catchment Rainwater Management. Water Intelligence Online 17.
- (95)Han, M. Y. & Mun, J. S. 2008 Particle behavior consideration to maximize the settling capacity of rainwater storage tanks. Water Science and Technology 56(11), 73–79.
- (96)Han, M. Y. and Park, J., 2009. Innovative rainwater harvesting and management in the Republic of Korea. Consulting Meeting for Development of Guidelines for Eco-efficient Water Infrastructure, 30-31st March, Seoul, Korea.
- (97)Han, M. Y., Park, S. & Kim, S. R. 2006 Analysis of rainwater quality in rainwater harvesting systems at dormitories in Seoul National University, Seoul, Korea. In Proc. IWA World Water Congress.
- (98)Han, MY, AD Dao and VA Nguyen (2010). Rainwater harvesting and use in urban areas - Some Korean experiences. Signatures of the Conference on Climate Change - Problems of Ha Noi, Hanoi.
- (99)Handia, L, J. M. Tembo, and C. Mwiindwa. 2003. Potential of rainwater harvesting in urban Zambia. Physics and Chemistry of the Earth, 28(20), pp. 893-896.
- (100)Hardin M., Wanielista M. and Chopra M. (2012). A mass balance for designing green roof system that Incorporate a Cistern for reuse. Water Journal.
- (101)Helmreich, B., Horn, H., 2009. Opportunities in rainwater harvesting. Desalination. 248, 118–124.
- (102)Henonin J., Russo B., Mark O., and Gourbesville P., Real-time urban flood forecasting and modelling – a state of the art, J. Hydroinformatics, vol. 15, no. 3, pp. 717–736, 2013.
- (103)Hermann T. and Schmida U. (2000). Rainwater utilization in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. Urban Water, 1(4), 307–316.
- (104)Hesse, C., S. Dirk and W. Michael (2011). Hand Numbers for Green Housing: Energy Efficient and Climate Adapted Building Solutions. National Energy Efficiency and Conservation Program
- (105)Heyworth, J. S., Glonek, G., Maynard, E. J., Baghurst, P. A. & FinlayJones, J. 2006 Consumption of untreated tank rainwater and gastroenteritis among young children in South Australia. International Journal of Epidemiology 35(4), 1051–1058.
- (106)Huggins L. F. and Burney J. R. (1982). Surface runoff, storage and routing. In: Hydrologic Modeling of Small Watersheds, C. T. Haan, H. P. Johnson and D. L. Brakensiek (eds), ASAE, Michigan, USA, pp. 169–225.
- (107)IGIP and VIWASE (2012). Project against flooding GIZ. Water drainage and prevention of inundation in medium-sized urban areas in the coastal area of Vietnam - Responding to climate change.

- (108)Imteaza, Ahsanb, Nasera, Rahmanc., 2011. Reliability analysis of rainwater tanks in Melbourne using daily water balance model. *Resources, Conservation and Recycling*. 56, 80–86.
- (109)Institute of Irrigation Science (2011). Technology for water collection and storage for irrigation of fruit trees and for preventing erosion on sloping land.
- (110)Jahanbazi M. and Egger U., Application and comparison of two different dual drainage models to assess urban flooding, *Urban Water J.*, vol. 11, no. 7, pp. 584–595, Oct. 2014.
- (111)Kim Y. J., Han M. Y., Kim Y. H. and Mun J. S. (2009). An experimental runoff formula in building roof area for on-site rainwater management. *Journal of Korea Water Resources Association*, 42(2), 171–176.
- (112)Kim Y., Han M., Kabubi J., Sohn H. G. & Nguyen D. C. (2016). Community-based rainwater harvesting (CB-RWH) to supply drinking water in developing countries: Lessons learned from case studies in Africa and Asia. *Journal of Water Science and Technology: Water Supply*, 16(4), 1110-1121.
- (113)Kim, M., Y. Kim, S. Park, M. Han, and K. Yoon. 2005. The operational data of rainwater utilization facility in dormitories. Tokyo Asia Pacific Sky Water Forum, Agu. 2005, Japan.
- (114)Kim, Y. J. and Han, M. Y. 2008. Rainwater storage tank as a remedy for a local urban flood control. *Water Science & Technology: Water Supply*. 8(1), 31-36.
- (115)Kingspanwater Commercial Rainwater Harvesting System. Kingspam.com.
- (116)Koutsoyiannis, D., Kozonis, D., & Manetas, A. (1998). A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships. *Journal of Hydrology*, 206(1–2), 118–135. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(98\)00097-3](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00097-3)
- (117)Krampitz, E. and R. Hollander. Longevity of pathogenic bacteria especially Salmonella in cistern water. *Zentralbl Hyg Umweltmed*. 1999;202(5):389–397.
- (118)Le T. T. A. et al., Urban flood hazard analysis in present and future climate after statistical downscaling: a case study in Ha Tinh city, Vietnam, *Urban Water J.*, vol. 18, no. 4, pp. 257–274, 2021.
- (119)Lee, M., Kim, M., Kim, Y., & Han, M. (2017). Consideration of rainwater quality parameters for drinking purposes: A case study in rural Vietnam. *Journal of Environmental Management*, 200, 400–406. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.072>.
- (120)Leggett, D. J., R. Brown, D. Brewer, G. Stanfield and E. Holliday (2001). Rainwater and greywater use in buildings: best practice guidance, CIRIA report C539, London.
- (121)Leitão J. P. et al., Real-time forecasting urban drainage models: Full or simplified networks? *Water Sci. Technol.*, vol. 62, no. 9, pp. 2106–2114, 2010.
- (122)Linsely R. K., Paulhus J. L. H., Kohler M. A. (1975). *Hydrology for engineers*: 2nd Edition, McGraw-Hill.
- (123)Liu, L., S., Liu, L., H., Wu, L., Wu, J., Hou, W. (2016). "Problems and countermeasures on the safety of rainwater harvesting for drinking in China." *MATEC Web of Conferences* 68(14006).
- (124)Lloyd-Davies D. E., Jones A. S. and Travis W. O. (1906). The elimination of stormwater from sewerage systems. *Institution of Civil Engineering*, 164, 41–67.
- (125)Lye, D. 1991 Microbial levels in cistern systems: Acceptable or unacceptable. In *Proc. of the Fifth Int. Conf. on Rainwater Cistern Systems*, Keelung, Taiwan, 1–10 August.

- (126)Lye, D. 1992. Legionella and Amoeba found in cistern systems. In Proc. Of the regional conference of the international rainwater catchment systems association. Kyoto, Japan, 4-10 Oct.
- (127)Lye, D. J. 2002 Health risks associated with consumption of untreated water from household roof catchment systems. *Journal of the American Water Resources Association* 38, 1301–1306.
- (128)Majeed S. and Chinnamma M. A., Design of urban drainage system using SWMM, *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 8, no. 6, pp. 311–316, 2021.
- (129)Maksimović Č., Prodanović D., Boonya-Aroonnet S., Leitão J. P., Djordjević S., and Allitt R., Overland flow and pathway analysis for modelling of urban pluvial flooding, *J. Hydraul. Res.*, vol. 47, no. 4, pp. 512–523, Jul. 2009.
- (130)Maksimovic Cedo, Data Requirements for Advanced Modelling of Flooding in Urban Areas Question, in *The Spring WaPUG Conference*, 2000.
- (131)Mark O., Weesakul S., and Apirumanekul C., Potential and limitations of 1D modelling of urban flooding, vol. 299, pp. 284–299, 2004.
- (132)Mays LW (2011) *Water resources engineering*, 2nd Ed. Wiley India Pvt. Limited.
- (133)Meera, V. and M.M. Ahammed. Water quality of rooftop rainwater harvesting systems: a review. *Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA*. 2006;55(4):257–268.
- (134)Menabde, M., Seed, A. and Pegram, G. (1999) ‘A simple scaling model for extreme rainfall’, *Water Resources Research*, 35(1), pp. 335–339. Available at: <https://doi.org/10.1029/1998WR900012>.
- (135)Merritt, K. and Y.H. An, 2000. Factors influencing bacterial adhesion In: *Handbook of bacterial adhesion: principles, methods, and application*, edited by Y.H. An and R.J. Friedman, Humana press Inc. NJ p.53-72.
- (136)Metcalf and Eddy (1971). *Water Resources Engineers*. University of Florida.
- (137)Michael, B. Article reproduction guideline: Selecting a rainwater tank - materials.
- (138)Ministry of Construction (2010). *Drainage planning for Can Tho city*.
- (139)Ministry of Natural Resources and Environment (2020). *Climate change and sea level rise scenarios for Vietnam*.
- (140)Mohammad, T. A., M. J. M. M. Noor, and A. H. Ghazali 2008. Modeling and reliability assessment for rainwater harvesting system proceeding on the 3rd international conference on water resources and arid environments and the 1st Arab water forum.
- (141)Mun J. & Han M. (2012). Design and operational parameters of a rooftop rainwater harvesting system: Definition, sensitivity and verification. *Journal of Environmental Management*, 93(1), 147-153.
- (142)Mun J. S., Han M. S., Ki D. W. and Han M. Y. (2005). Design of Rainwater Tank Capacity for preventing sewer pipe Flood, 2005 KSWQ-KSWW Joint Spring Academic Conference proceeding book, Korean Society of Water Quality, Korean Society of Water and Wastewater.
- (143)Murase et al. (1995). Rain water and us. 100 ways to use rain water.
- (144)Mwamila T., Han M. & Ndomba P. (2015). Tackling rainwater shortages during dry seasons using a socio-technical operational strategy. *Water Science & Technology: Water Supply*, 15(5), 974-980.

- (145)Nowak D. J. and Greenfield E. J., Declining urban and community tree cover in the United States, *Urban Green.*, vol. 32, pp. 32–55, May 2018.
- (146)Nguyen D. C. & Han M. Y. (2014). Design of dual water supply system using rainwater and groundwater at arsenic contaminated area in Vietnam. *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*, 63(7), 578-585.
- (147)Nguyen D. C. & Han M. Y. (2017). Proposal of simple and reasonable method for design of rainwater harvesting system from limited rainfall data. *Resources, Conservation & Recycling*, 126, 219-227.
- (148)Nguyen D. C., Dao A. D., Kim C. & Han M. Y. (2013). A sustainability assessment of the rainwater harvesting system for drinking water supply—A case study of Cukhe Village, Hanoi, Vietnam. *Environmental Engineering Research Journal*, 18(2), 109-114.
- (149)Nguyen H. Hanh, Venohr M., Gericke A., Sundermann A., Welti E. A. R., and Haase P., Dynamics in impervious urban and non-urban areas and their effects on run-off, nutrient emissions, and macroinvertebrate communities, *Landsc. Urban Plan.*, vol. 231, p. 104639, 2023.
- (150)Nguyen V. M., Tran K. C., and Nguyen T. T., *Modelling the Influences of River Water Level on the Flooding Situation of Urban Areas: A Case Study in Hanoi, Vietnam*, vol. 1. Springer International Publishing, 2023.
- (151)Nguyen Viet Anh (2009). Sustainable urban drainage. J. Construction, MOC, Vietnam.
- (152)Nguyen, D. C., 2016. Micro-scale hydrology modelling for multipurpose rainwater management. Doctoral dissertation, Seoul National University, Seoul, Korea.
- (153)Nhat, L. M., Tachikawa, Y., Sayama, T., & Takara, K. (2007). Regional Rainfall Intensity-Duration-Frequency Relationships For Ungauged Catchments Based on Scaling Properties. *Annals of Disas. Prev. Res. Inst.*, Kyoto Univ, 50B, 33–43.
- (154)Ologhadien, I. (2019). Assessment of the impact of climate change on intensity-duration-frequency (IDF) equations in Benin city, Nigeria. *International Journal of Hydrology*, 3(2). <https://doi.org/10.15406/ijh.2019.03.00171>
- (155)Ostrum, E., 1990. *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*, Cambridge University Press.
- (156)Özdemir, S., Elliott, M., Brown, J., Nam, P. K., Thi Hien, V., & Sobsey, M. D. (2011). Rainwater harvesting practices and attitudes in the Mekong Delta of Vietnam. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 1(3), 171. <https://doi.org/10.2166/washdev.2011.024>.
- (157)Pandey, Deep & Gupta, Anil & Anderson, David. (2003). Rainwater Harvesting as an Adaptation to Climate Change. *Current Science*. 85.
- (158)Papadopoulos, I. (1993). Water Harvesting from Greenhouses. In: *FAO, Water Harvesting For Improved Agricultural Production. . Expert Consultation. Cairo, Egypt*
- (159)Pazwash Hormoz. 2016, *Hydrologic Calculations*, from: *Urban Storm Water Management* CRC Press, <https://www.routledgehandbooks.com/doi/10.1201/b19658-4>
- (160)Peter-Varbanets, M., Zurbru" gg, C., Swartz, C., Pronk, W., 2009. Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology. *Water Research*. 43, 245-265.
- (161)Pinfold, J. V., Horan, N. J., Wirojanagud, W. & Mara, D. 1993 The bacteriological quality of rain jar water in rural northeast Thailand. *Wat. Res.* 27(2), 297–302.

- (162)Ponce V. M. (1989). Engineering Hydrology-principles and Practices. Prentice- Hall, New Jersey.
- (163)Prodanovic, P., & Simonovic, S. P. (2007). Development of rainfall intensity duration frequency curves for the City of London under the changing climate.
- (164)Phan Van Tan et al. (2013). Study the impact of global climate change on climatic extremes and phenomena in Vietnam, predictability and response strategy solutions.
- (165)Rozaki Z, Senge M, Yoshiyama K and Komariah. Feasibility and adoption of rainwater harvesting by farmers. Reviews in Agricultural Science, 5:56-64, 2017. <http://dx.doi.org/10.7831/ras.5.56>.
- (166)Sazakli, E., Alexopoulos, A., Leotsinidis, M., 2007. Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece. Water Research. 41 (9), 2039-2047.
- (167)Sharp, L., 2006. Water Demand Management in England and Wales: constructions of the domestic water user. J. Envir. Plann. Manage., 49, 869-889.
- (168)Sherman L. K. (1932). Stream flow from rainfall by the unit hydrograph method. Engineering News-Record, 108, 501–505.
- (169)Simmons, G., Hope, V., Lewis, G., Whitmore, J., & Wanzhen, G. 2001 Contamination of potable roof-collected rainwater in Auckland. New Zealand. Wat. Res. 35, 1518–1524.
- (170)Snyder F. F. (1938). Synthetic unit graphs. Transactions of the American Geophysics Union, 19(1), 447–454.
- (171)Soc Trang Department of Construction (2011). Adjustment of general planning of Soc Trang city to 2030, with a vision to 2050.
- (172)Suleiman L. Urban rainwater harvesting from niche to mainstream: challenges and opportunities for planning. ABE/ KTH. UrbanRain: <http://www.urbanrain.se/>
- (173)Tabatabaee J. and Han M. Y. (2010). Rainwater harvesting potentials for drought mitigation. IWA Publishing 2010. Water Science and Technology.
- (174)Tamm O., Kokkonen T., Warsta L., Dubovik M., and Koivusalo H., Modelling urban stormwater management changes using SWMM and convection-permitting climate simulations in cold areas, J. Hydrol., vol. 622, no. PA, p. 129656, 2023.
- (175)Taylor, R., D. Sloan, T. Copper, B. Morton, and I. Hunter. 2000. A waterborne outbreak of Salmonella Saintpaul. Communicable Disease Interlligence 24, 336-340.
- (176)Temesgen, T., Han, M. Y., Park, H. J. & Kim, T. 2015 Design and technical evaluation of improved rainwater harvesting system on a University Building in Ethiopia. Water Science & Technology: Water Supply, 15(6), 1220-1227.
- (177)Thanh, S. T., & Xuan, A. H. (2023). Deriving of Intensity–Duration–Frequency (IDF) curves for precipitation at Hanoi, Vietnam. E3S Web of Conferences, 403, 06002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340306002>
- (178)Thomas, P.R. and G.R. Greene. 1993. Rainwater quality from different roof catchments. Water Science and Technology 28, 291-299.
- (179)Thomas, T., 2002. RWH Performance Predictor for Use with Coarse (i.e. Monthly) Rainfall Data. Rep. No. RN-RWH04, Domestic Roofwater Harvesting Research Programme, University of Warwick.
- (180)UNDP, World Urbanization Prospects, vol. 12. 2018.
- (181)US EPA, 2022, Storm Water Management Model User's Manual Version 5.2.

- (182) Vaes G. and Berlamont J. (2001). The effect of rainwater storage tanks on design storms. *Urban Water*, 3(4), 303–307.
- (183) VLWR, 2012. The Vietnamese Law of water resources. Vietnam National Assembly.
- (184) Wang, X., Huang, G., & Liu, J. (2014). Projected increases in intensity and frequency of rainfall extremes through a regional climate modeling approach. *Journal of Geophysical Research*, 119(23), 13,271-13,286. <https://doi.org/10.1002/2014JD022564>
- (185) Watkins, L. H. (1962). “The design of urban sewer systems: Research into the relation between rate of rainfall and rate of flow in sewers.” Technical Paper No. 55, U.K. Dept. of Scientific and Industrial Research, Road Research Laboratory
- (186) Wei H., Zhang L., and Liu J., Hydrodynamic Modelling and Flood Risk Analysis of Urban Catchments under Multiple Scenarios: A Case Study of Dongfeng Canal District, Zhengzhou, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 19, no. 22, Nov. 2022.
- (187) Werner P, Röstel G, Fuchs L and S. C (2011). Integrated water management in Vietnam - A guidebook to sustainable development.
- (188) Wilbers, G.-J., M. Becker, L. T. Nga, Z. Sebesvari and F. G. Renaud (2014). "Spatial and temporal variability of surface water pollution in the Mekong Delta, Vietnam." *Science of The Total Environment* 485-486: 653-665.
- (189) Willems, P. (2000). Compound intensity/duration/frequency-relationships of extreme precipitation for two seasons and two storm types. *Journal of Hydrology*, 233(1–4), 189–205. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00233-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00233-X)
- (190) WorldBank (2013). Report on urban water supply database. Ministry of Construction.
- (191) Yang M, Sang YF, Sivakumar B, Chan F, Pan X (2020) Challenges in urban stormwater management in Chinese cities: A hydrologic perspective, *Journal of Hydrology*, Volume 591, 2020, 125314, ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125314>
- (192) Zhu, K., I. Zhang, W. Hart, M. Lui, and H. Chen. 2004. Quality issues in harvested rainwater in arid and semi-arid Loess Plateau of northern China. *Journal of arid environments* 57(4):487-505.