

Oppdragsnavn: Hovedplan overvann VIVA
Oppdragsnummer: 613837-13
Utarbeidet av: Kim Haukeland Paus
Dato: 07.02.2019
Tilgjengelighet: Åpen

TOLKNING AV TRE-TRINNSSTRATEGIEN FOR HÅNDTERING AV OVERVANN OG EKSEMPLER PÅ DIMENSJONERING

TRE-TRINNSSTRATEGIEN	2
FORMÅL MED TRINNENE	3
DIMENSJONERINGSKRITERIER.....	4
FORUTSETNINGER I EKSEMPLER.....	7
EKSEMPEL 1: TRADISJONELT FORDRØYNINGSMAGASIN	8
EKSEMPEL 2: GRØNT EKSTENSIVT TAK OG TRADISJONELT MAGASIN	10
EKSEMPEL 3: REGNBED OG TRADISJONELT MAGASIN	13
EKSEMPEL 4: ÅPENT BASSENG OG TRADISJONELT MAGASIN	17
EKSEMPEL 5: GRØNT TAK, REGNBED OG ÅPENT BASSENG	20

Merknad ifb. revisjon av temaplanen 2025:

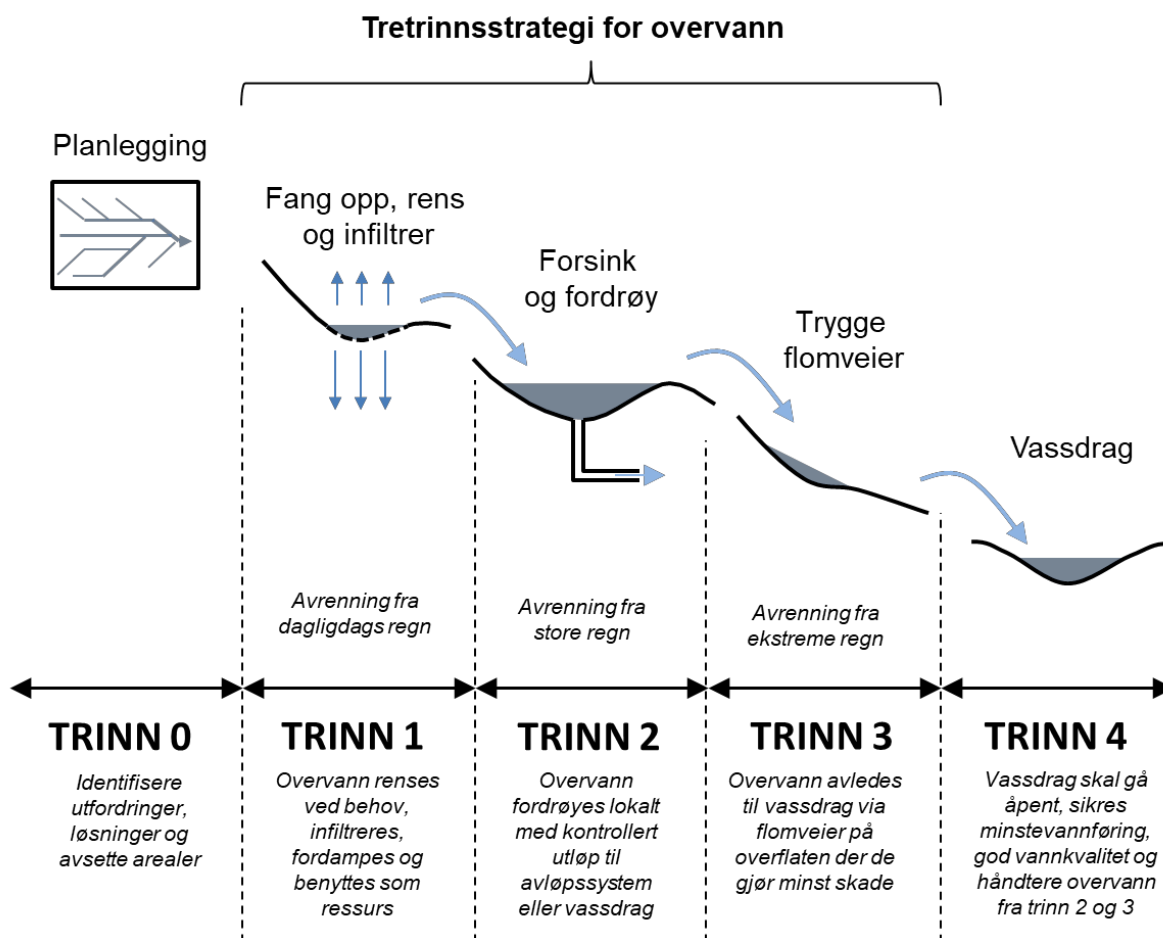
Dette vedlegget presenterer 3-trinnsstrategien på generelt grunnlag, og er ikke tilpasset spesifikt til Lier kommune.

Regneeksemplene og oppgitt informasjon om gjentakintervall, klimafaktor, påslippskrav og IVF-kurver/nedbørsdata vil ikke nødvendigvis stemme med til enhver tid gjeldende praksis eller oppdaterte verdier, da vedlegget ble utarbeidet i 2019. Regneeksemplene kan likevel benyttes da fremgangsmåten ikke er endret.

Opgitt informasjon om at det i TEK 17 ikke er informasjon om dimensjonerende gjentakintervall for sikring mot oversvømmelse og flom som følge av overvann stemmer ikke lenger, da endringer i TEK 17 § 15-8 trådte i krav fra 01.01.2024. For oppdaterte krav i lovverk henvises det til temaplanen.

TRE-TRINNSSTRATEGIEN

Tre-trinnsstrategien er en anbefalt tilnærming til håndtering av overvann (Lindholm m.fl., 2008). I tråd med strategien skal avrenning fra mindre regn fanges opp og infiltreres i trinn 1, avrenning fra store regn skal fordrøyes før påslipp til avløpsanlegg eller utslipp til vassdrag i trinn 2 og avrenning fra ekstreme regn skal sikres trygg avledning på overflaten via flomveier i trinn 3. Sammenlignet med den opprinnelige strategien er det i Figur 1 lagt til et trinn 0 som omfatter den tidlige planleggingen som er nødvendig for å gjennomføre de etterfølgende trinnene, samt et trinn 4 som omfatter vurderinger av vassdragene som resipienter for overvann.



Figur 1: Tre-trinnsstrategi for håndtering av overvann basert på anbefaling av Norsk Vann. I forhold til opprinnelig strategi er det lagt til et trinn 0 som omfatter den planleggingen som er nødvendig for å sikre at en oppnår intensjonene i trinn 1 til 3, samt et trinn 4 som omfatter vassdragenes avhengighet av overvann og rolle som transportsystem for overvann ut av bebygde områder.

Formålet med dette notatet er å belyse de funksjoner vi kan tillegge trinnene, foreslå dimensjoneringskriterier og vise eksempler på muligheter for praktisk dimensjonering knyttet til tre-trinnsstrategien.

FORMÅL MED TRINNENE

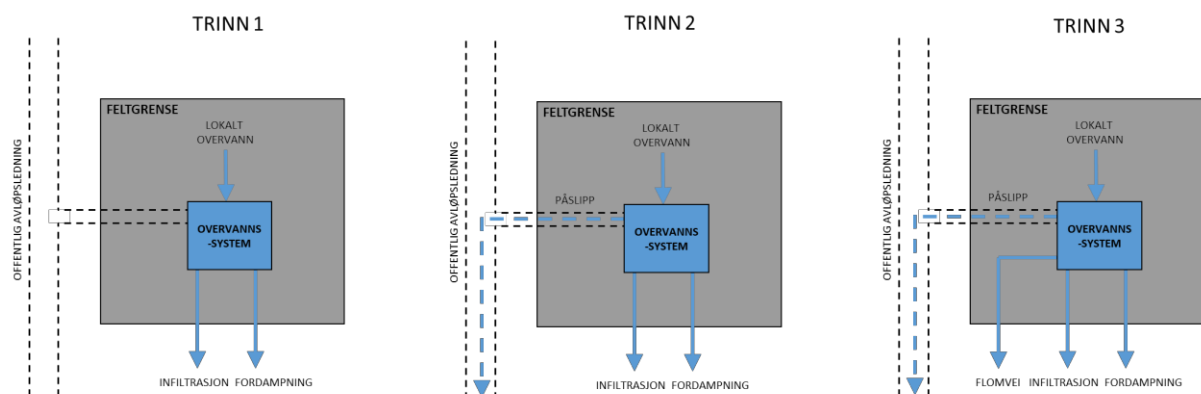
Det er i Tabell 1 oppsummert mulige utfordringer knyttet til overvann og en tolkning av prinsipielle løsninger kategorisert etter trinnene i tre-trinnsstrategien. Formålene til tiltak i trinn 2 og 3 er å avlaste avløpsanlegg eller vassdrag og generelt sikre at vann ikke kommer på avveie og gjør skade. Formålet til tiltak i trinn 1 er mer mangfoldig. Nedbørmengdene i trinn 1 forstås her som regn av dagligdags karakter og funksjonene kan omfatte å sikre en naturlig vannbalanse gjennom infiltrasjon, etterfylling av grunnvann, fordampning og/eller vannopptak i vegetasjon, rense forurenset overvann, redusere mengden uønsket vann tilført avløpsrenseanlegget over året (fremmedvann), utnytte vannets estetiske eller økologiske potensial, styrke biologisk mangfold og gjenbruke overvann til kjøling, oppvarming, vanning og reduksjon av nettvannforbruk.

Tabell 1: Eksempler på utfordringer knyttet til overvann og tolkning av prinsipielle løsninger og kategorisering i tre-trinnsstrategien.

Utfordring	Prinsipiell løsning	Trinn 1	Trinn 2	Trinn 3
Forurensning av vassdrag via forurenset overvann	Rense det meste av årsavrenningen	X		
Høy tilførsel av uønsket vann til avløpsrenseanlegg over året	Avskjære det meste av årsavrenningen slik at det ikke når avløpssystemet	X		
Redusert grunnvannsnivå	Infiltrere det meste av årsavrenning	X		
Redusert fordampning som følge av reduksjon i vegeterte overflater	Sørge for kontakt mellom vegetasjon og avrenning	X		
Urasjonell håndtering av vann og forbruk av energi	Gjenbruk av årsnedbøren	X		
Tap av biologisk mangfold	Utnytte årsavrenning til å skape verdifulle økosystemer			
Skader som følge av overbelastet avløpssystem	Avlaste avløpsanlegg gjennom fordrøyning av store regn		X	
Skader som følge av overbelastet vassdrag	Avlaste vassdrag gjennom fordrøyning av store regn		X	
Forurensning av vassdrag via overløpsdrift på avløpssystem	Avlaste avløpsanlegg gjennom fordrøyning av store regn		X	
Skader som følge av mangel på planlagte flomveier	Sikre trygge flomveier			X

DIMENSJONERINGSKRITERIER

Figur 2 illustrerer en tolkning av funksjonskravet som settes til trinnene i tre-trinnsstrategien. Ved trinn 1 skal all avrenning i prinsippet håndteres lokalt via infiltrasjon og fordampning og ikke føres til offentlig avløpsledning. Ved trinn 3 skal all avrenningen håndteres lokalt men det tillates ofte et maksimalt påslipp til offentlig avløpssystem. Ved trinn 3 skal overskytende avrenning føres i flomveier på overflaten der vannet gjør minst skade. Overvannssystemet skal sikre at overvann håndteres etter de funksjonskrav som gjelder for det enkelte trinn.



Figur 2: Tolkning av vannregnskapet for trinnene i tre-trinnsstrategien.

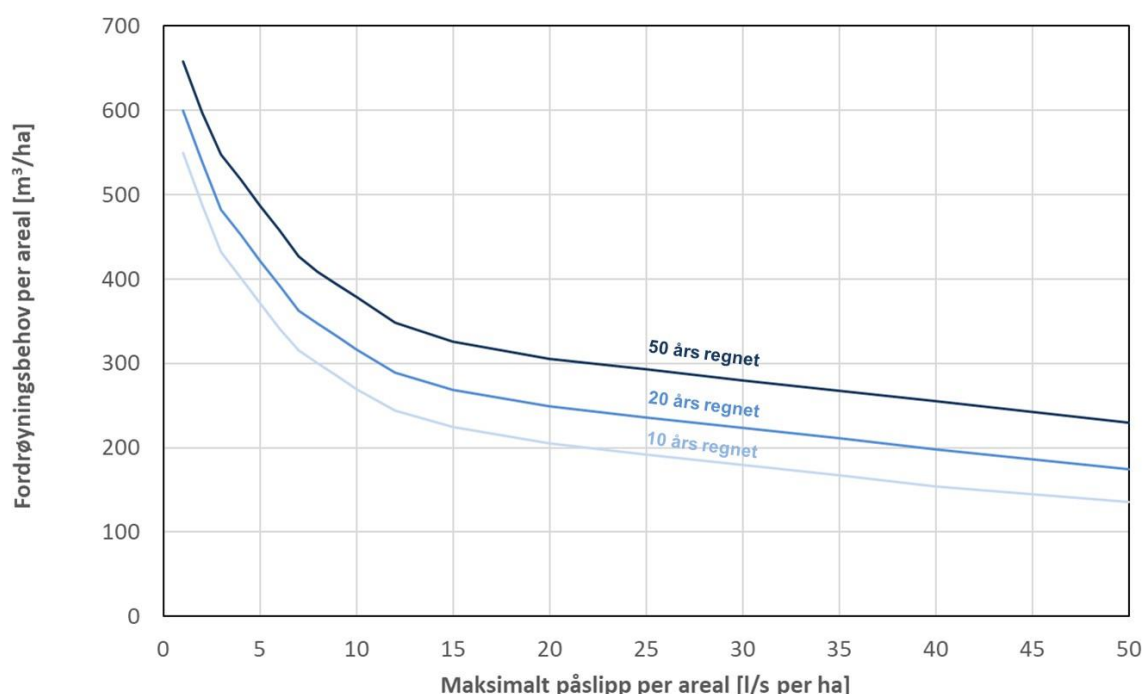
Tabell 2 oppsummerer videre eksempler på dimensjoneringskriterier benyttet ifm. tre-trinnsstrategien.

Tabell 2: Dimensjoneringskriterier for trinnene i tre-trinnsstrategien.

Trinn	Dimensjoneringskriterier	Beskrivelse	Eksempler på tiltak
Trinn 1	- Andel av årsnedbøren (f.eks. 95 %) - Blågrønn faktor - Avrenningskoeffisient	Avrenning fra dagligdags/mindre nedbørhendelser skal håndteres lokalt og slik at overvann ikke føres til offentlig avløpssystem.	Grønne ekstensive tak, permeable overflater, utkast av takvann til gresskledd areal, regnbed, vadi/swale, regntønnner, permanente overvannsspeil, sandfang
Trinn 2	- Gjentaksintervall (f.eks. 20 år) - Klimafaktor (f.eks. 1,40) - Maksimalt påslipp til offentlig avløpssystem (f.eks. 10 l/s per ha).	Avrenning fra store nedbørhendelser skal håndteres lokalt og slik at maksimalt tillatt påslipp til offentlig avløpssystem overholdes.	Grønne intensive tak, regnbed, vadi/swale, våtmark, kontrollerte oversvømmelsesarealer (tørre bassenger), fordrøyningsdammer, underjordiske magasiner (f.eks. rør, kassetter, kamre, tanker)
Trinn 3	- Gjentaksintervall (f.eks. 100 år) - Klimafaktor (f.eks. 1,40)	Avrenning fra ekstreme nedbørhendelser skal videreføres på overflaten på en slik måte at de ikke gjør skade på bygg og infrastruktur.	Kanaler, vadi/swale, gresskledd forsenkninger, grøfter, regnbekker, bekker, elver, nedsenkede gangveier.

For trinn 1 kan andel permeable flater, midlere avrenningskoeffisient eller blågrønn faktor benyttes som et mål. En annen tilnærming til trinn 1 er å dimensjonere tiltak for en bestemt nedbørmengde som reflekterer hvor stor andel av årsnedbøren som fanges opp. Metoden for dette bygger på de metoder som benyttes for dimensjonering av tiltak i trinn 2 og er gitt i Paus (2018)¹.

Tiltak i trinn 2 skal kunne håndtere en fremtidig stor nedbørhendelse lokalt, gitt et maksimalt påslipp på offentlig avløpsnett. En vanlig praksis i urbane områder er at denne nedbørhendelsen skal ha et gjentakintervall på 20 år. For å hensynta klimaendringer benyttes det også en klimafaktor ved beregning av nedbørhendelsen. Maksimalt påslipp til offentlig avløpssystem settes typisk til 10 l/s per ha. I praksis betyr dette at overvannssystemet ikke skal videreføre mer enn 10 l/s per ha til offentlig avløpsledning når fremtidens 20 års nedbør treffer. Jo lavere maksimale påslippsverdi som tillates, desto større fordrøyningsvolum kreves på egen tomt (Figur 3). Og videre, jo lavere gjentakintervall som benyttes for dimensjonering i trinn 2, desto oftere vil flomveiene i trinn 3 tre i kraft.



Figur 3: Nødvendig fordrøyningsvolum per areal som funksjon av gjentakintervall og maksimalt påslipp til offentlig nett. Forutsetninger for beregningene er IVF-statistikk fra Asker, klimafaktor på 1,40, midlere avrenningskoeffisient på 0,60 og at midlere utløp fra fordrøyningsløsningen under regnhendelsen er 70 % av maksimalt påslipp. Med fordrøyningsvolum menes det volum som både kan lagres og infiltreres under regnhendelsen.

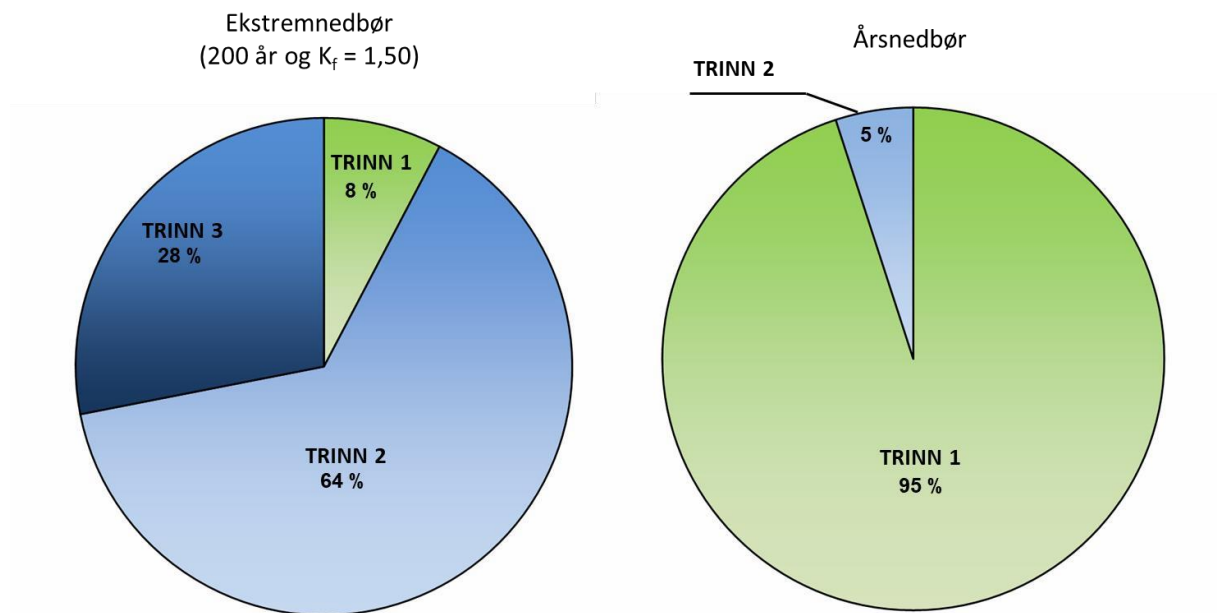
Ved dimensjonering av fordrøyningsvolum er det anbefalt å benytte regnvelopmetoden som omfatter å beregne nødvendig volum på fordrøyningsvolum for alle regnvarigheter. Den regnvarigheten som gir størst fordrøyningsvolum blir således dimensjonerende.

Tiltak i trinn 3 skal videreføre overskytende overvann for en fremtidig ekstrem nedbørhendelse uten at det oppstår betydelige skader på bygg og infrastruktur. Mens det for vassdrag er definert dimensjonerende gjentakintervall ift. sikkerhetsklasser i Byggteknisk forskrift (TEK 17 § 7-2), eksisterer det ikke tilsvarende krav for sikring av oversvømmelse og flom som følge av overvann. I NOU

¹ Paus, K.H. (2018) Forslag til dimensjonerende verdier for trinn 1 i Norsk Vann sin tre-trinns strategi for håndtering av overvann. Vann.

(2015) er det imidlertid foreslått at sikkerhetsklasser som gjelder for flom i forbindelse med vassdrag, også bør gjelde for overvann. For de aller fleste anlegg vil dette medføre et dimensjonerende gjentakintervall på 200 år. Unntak fra dette omfatter spredt bebyggelse, lagerbygg, garasjer etc. (20 år) og byggverk med kritiske samfunnsfunksjoner etc. (1000 år).

Ved å dimensjonere trinn 1 for 95 % av årsnedbøren, trinn 2 for fremtidens 20 års nedbør og trinn 3 for fremtidens 200 års nedbør vil vannmengdene kunne fordele seg slik som illustrert i Figur 4.



Figur 4: Fordeling av nedbørmengder per trinn for ekstremhendelse (200 år med klimafaktor 1,50) og over året. Dimensjoneringskriterie for Trinn 2 er 20 års gjentakintervall med klimafaktor på 1,50. Nedbørstatistikk fra Asker målestasjon er benyttet og verdier er beregnet ved å ta gjennomsnitt av fordelinger for regnvarigheter mellom 10 og 1440 minutter.

FORUTSETNINGER I EKSEMPLER

Det er i det videre gjennomgått eksempler på mulige metoder for dimensjonering av tiltak iht. tre-trinnstrategien. Overvannstiltak er dimensjonert for et tenkt planområdet bestående av tak og tette og permeable flater på terreng. Metodene bygger på Norsk Vann rapport 193². Det presiseres at metodene kun er veiledende og at eksemplene kan inneholde feil. Det er generelt forutsatt følgende:

- Planområdet utgjør et isolert felt (mottar ikke avrenning fra omkringliggende arealer).
- Planområdet har ett utløp.
- Det er benyttet nedbørstatistikk for Asker (Tabell 3 og Tabell 4).
- Konsentrasjonstid er antatt å være neglisjerbar.
- Kun regnvarigheter mellom 10 og 1440 minutter er undersøkt.

Tabell 3: Dimensjonerende nedbørverdier [mm] for varierende gjentakintervall og regnvarighet for Asker. Uten krav om sammenhengende nedbør.

		Regnvarighet [min]											
		10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440
Gjentaksintervall	2 år	8.9	10.5	11.5	13.0	15.1	16.7	19.3	21.9	25.9	35.4	46.2	57.9
	5 år	11.6	14.3	16.5	19.3	22.5	24.9	27.7	30.2	34.3	44.3	55.7	66.5
	10 år	13.5	16.8	19.8	23.4	27.4	30.4	33.3	35.7	39.9	50.1	62.2	72.6
	20 år	15.2	19.2	23.0	27.3	32.1	35.6	38.6	41.0	45.3	55.7	68.3	78.6
	25 år	15.8	20.0	24.0	28.6	33.6	37.3	40.2	42.6	47.0	57.7	70.4	80.4
	50 år	17.5	22.4	27.0	32.5	38.2	42.4	45.4	47.8	52.2	63.1	76.0	85.5
	100 år	19.2	24.7	30.1	36.3	42.7	47.5	50.6	52.9	57.3	68.7	82.1	90.7
	200 år	20.9	27.0	33.2	40.1	47.3	52.6	55.7	58.0	62.5	74.1	88.1	96.8

Tabell 4: Dimensjonerende nedbørverdier [mm] for å håndtere en bestemt andel av årsnedbøren³. Verdiene er midlere verdier for analyser utført ved seks målestasjoner. Verdier for 15 og 45 min er estimert ved å ta gjennomsnittet av tilliggende verdier.

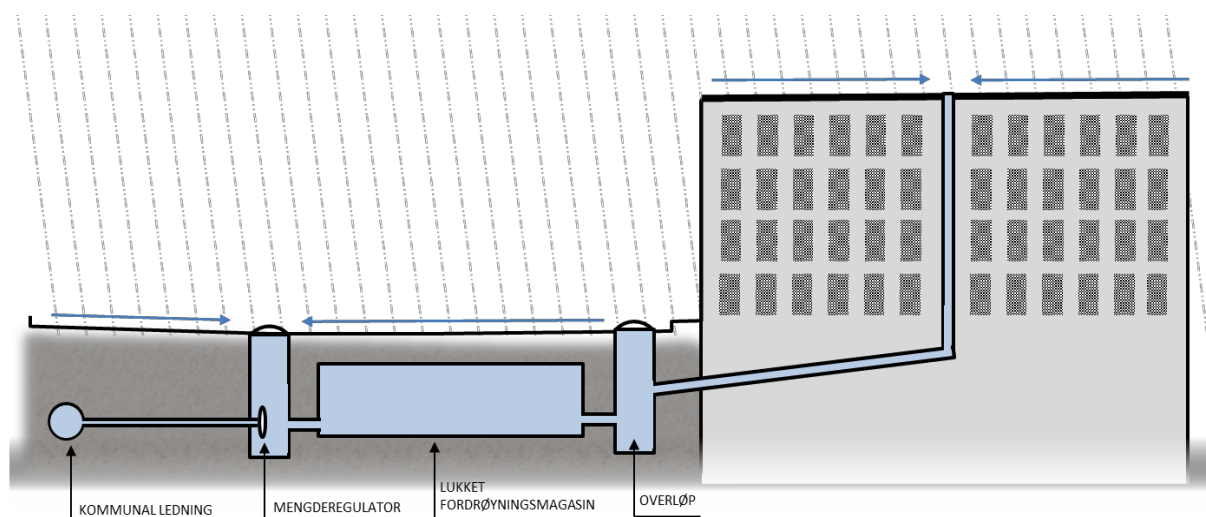
		Regnvarighet [min]											
		10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440
Andel av årsnedbør	50 %	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.5	2.3	3.5	4.9
	65 %	0.3	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.5	1.8	2.4	3.7	5.5	7.7
	80 %	0.5	0.6	0.8	1.1	1.5	1.9	2.5	3.1	4.0	6.0	8.8	12.2
	90 %	0.8	1.1	1.4	1.9	2.4	3.0	3.9	4.7	6.0	9.0	13.0	18.1
	95 %	1.4	1.8	2.2	2.9	3.6	4.4	5.5	6.7	8.3	12.2	17.3	24.0
	99 %	3.4	4.2	5.0	6.2	7.5	8.8	10.5	12.4	14.9	20.4	28.3	38.9

² Lindholm, O., Endresen, S., Smith, B. T. & Thorolfsson, S. (2012). Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem. Norsk Vann rapport. Rapportnummer 193 - 2012.

³ Paus, K.H. (2018) Forslag til dimensjonerende verdier for trinn 1 i Norsk Vann sin tre-trinns strategi for håndtering av overvann. Vann.

EKSEMPEL 1: TRADISJONELT FORDRØYNINGSMAGASIN

Et planområdet består av tak med utstrekning på 2000 m² og et utomhus-areal hvor 1000 m² opparbeides som permeabelt og 3000 m² som tett dekke. Offentlig avløpsledning har begrenset kapasitet på ca. 10 l/s per ha. I dette eksempelet skal et fordrøyningsmagasin dimensjoneres slik at offentlig avløpsledning ikke overbelastes ved fremtidens 20 års nedbørhendelse (trinn 2). Situasjonen er illustrert nedenfor.



Steg 1: Beregne midlere avrenningskoeffisient

Det antas at tak har en avrenningskoeffisient på 1,00, at permeable flater har en avrenningskoeffisient på 0,40 og at tett dekke har en avrenningskoeffisient på 0,85. Midlere avrenningskoeffisient kan da beregnes som følgende:

$$\varphi_{mid} = \frac{2000 \text{ m}^2 \cdot 1,00 + 1000 \text{ m}^2 \cdot 0,40 + 3000 \text{ m}^2 \cdot 0,85}{2000 \text{ m}^2 + 1000 \text{ m}^2 + 3000 \text{ m}^2} = \frac{4950 \text{ m}^2}{6000 \text{ m}^2} = 0,83$$

Steg 2: Bestemme dimensjonerende nedbørstatistikk for trinn 2

Det er antatt en konstant klimafaktor på 1,40. Dimensjonerende nedbørstatistikk uten og med klimafaktor for gjentakintervall på 20 år er vist nedenfor.

t_r [min]	10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440	(Regnvarighet)
$P_{20 \text{ år}}$ [mm]	15.2	19.2	23	27.3	32.1	35.6	38.6	41	45.3	55.7	68.3	78.6	(Nedbør med 20 års gjentakintervall)
$P_{20 \text{ år}} \cdot K_f$ [mm]	21.3	26.9	32.2	38.2	44.9	49.8	54.0	57.4	63.4	78.0	95.6	110.0	(Nedbør med 20 års gjentakintervall og klimafaktor 1,40)

Steg 3: Bestemme maksimalt og midlere påslipp til offentlig avløpsledning ved trinn 2

Det tillates et maksimalt påslipp på 10 l/s per ha. Gitt utstrekningen til planområdet tillates det følgende maksimale påslipp:

$$Q_{maks} = 10 \frac{l}{s \cdot ha} \cdot (6000 \text{ m}^2) \cdot \frac{1 \text{ ha}}{10000 \text{ m}^2} = 6,0 \text{ l/s}$$

Maksimalt påslipp vil i prinsippet bare opptre når magasinet er fullt. For å anslå et midlere påslipp som representerer påslippet gjennom hele nedbørhendelsen multipliseres det maksimale påslippet med en faktor på 0,70:

$$Q_{mid} = 6,0 \text{ l/s} \cdot 0,70 = 4,2 \text{ l/s}$$

Steg 4: Bestemme nødvendig fordrøyningsvolum i magasin for håndtering av trinn 2

Ved dimensjonering av fordrøyningsvolum benyttes regnvelopmetoden. Det innebærer at differansen mellom avrenningsvolumet som tilføres og videreføres fra magasinet beregnes for hver enkelt regnvarighet. Største differanse blir dimensjonerende.

Avrenningsvolumet som tilføres magasinet for hver enkelt regnvarighet beregnes etter den rasjonale formel:

$$V_{inn} = 0,83 \cdot 6000 \text{ m}^2 \cdot P \cdot 1,40$$

Avrenningsvolumet som videreføres til kommunal ledning for hver enkelt regnvarighet beregnes ved å multiplisere midlere påslipp med regnvarigheten (t_r):

$$V_{ut} = 4,2 \text{ l/s} \cdot t_r$$

Fordrøyningsbehovet beregnes så for hver enkelt regnvarighet:

$$dV = V_{inn} - V_{ut}$$

I tabellen nedenfor er volum inn (V_{inn}) og ut (V_{ut}) magasinet samt differansen (dV) beregnet for hver enkelt regnvarighet. Fra tabellen kan vi se at den største differansen oppnås ved en regnvarighet på 360 minutter.

Nødvendig magasinivolum for å fordrøye en nedbørhendelse med 20 års gjentakintervall, klimafaktor på 1,40 og maksimalt påslipp på 10 l/s per ha blir dermed 295 m³.

t_r [min]	10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440	(Regnvarighet)
$P_{20\text{ år}} \cdot K_f$ [mm]	21.3	26.9	32.2	38.2	44.9	49.8	54.0	57.4	63.4	78.0	95.6	110.0	(Nedbør med 20 års gjentakintervall og klimafaktor 1,40)
V_{inn} [m ³]	105	133	159	189	222	247	267	284	314	386	473	545	(Avrenningsvolum fra den rasjonale formel)
V_{ut} [m ³]	3	4	5	8	11	15	23	30	45	91	181	363	(Utløp fra magasin)
dV [m ³]	103	129	154	182	211	232	245	254	269	295	292	182	(Differanse mellom volum inn og ut)

Steg 5: Angi hvor stor andel av flatene som håndteres i trinn 1

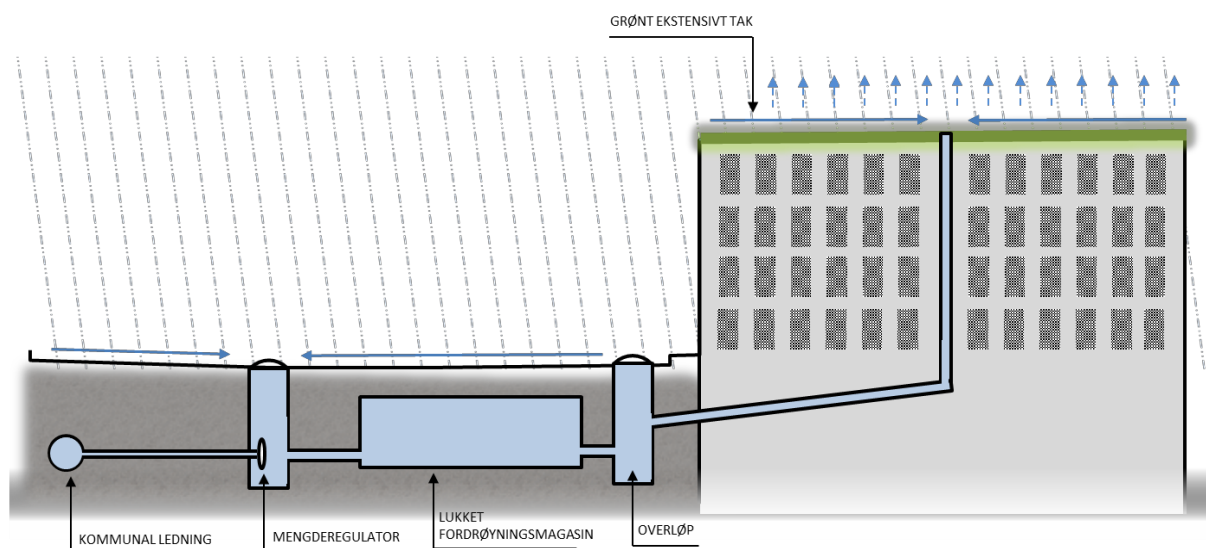
Forutsatt at magasinet er tett (f.eks. betongrør) og ikke kommuniserer med omkringliggende masser vil all avrenning som føres til tradisjonelt magasin videreføres til kommunal avløpsledning. Ved nedbørmengder tilknyttet trinn 1, antas det dog at det permeable området i feltet (1000 m²) ikke genererer avrenning. Tilsvarende antas det at 15 % av det tette belegget (450 m²) ikke generer avrenning ved nedbørmengder tilknyttet trinn 1.

Summen av arealene som ikke genererer avrenning ved trinn 1 er da 1 450 m².

Andelen av flatene som håndterer trinn 1 er da 24 %.

EKSEMPEL 2: GRØNT EKSTENSIVT TAK OG TRADISJONELT MAGASIN

Et planområde består av tak med utstrekning på 2000 m² og et utomhus-areal hvor 1000 m² opparbeides som permeabelt og 3000 m² som tett dekke. Offentlig avløpsledning har begrenset kapasitet på ca. 10 l/s per ha. Taket opparbeides som grønt ekstensivt tak. I dette eksempelet skal et fordrøyningsmagasin dimensjoneres slik at offentlig avløpsledning ikke overbelastes ved fremtidens 20 års nedbørhendelse (trinn 2). Situasjonen er illustrert nedenfor.



Det finnes flere tilnærminger til dimensjonering av fordrøyningsløsninger i felt med grønne tak. Én tilnærming er å anta at det grønne taket reduserer avrenningskoeffisienten fra 0,95 til f.eks. 0,65. Denne tilnærmingen har imidlertid en begrensning da den antar en konstant effekt av det grønne taket uavhengig av nedbørmengden og regnvarigheten. Det er generelt antatt at grønne ekstensive tak typisk har god evne til å håndtere korte nedbørhendelser, men begrenset effekt for lange nedbørhendelser når vegetasjon og vekstmediet blir vannmettet. I det videre er det benyttet en tilnærming der det grønne ekstensive taket fanger opp 8 mm nedbør uavhengig av regnvarigheten. Det bemerkes at grønne tak også vil kunne forlenge konsentrasjonstiden på avrenningen. Denne effekten er imidlertid ikke tilstrekkelig dokumentert og er derfor ikke medregnet.

Steg 1: Beregne midlere avrenningskoeffisient for flater utenom grønt tak

Ettersom vi senere beregner effekten av taket spesifikt, er det i første omgang mest relevant å beregne midlere avrenningskoeffisient for flatene på bakkenivå. Midlere avrenningskoeffisient for flatene på bakkenivå kan beregnes som følgende:

$$\varphi_{mid} = \frac{1000 \text{ m}^2 \cdot 0,40 + 3000 \text{ m}^2 \cdot 0,85}{1000 \text{ m}^2 + 3000 \text{ m}^2} = \frac{2950 \text{ m}^2}{4000 \text{ m}^2} = 0,74$$

Steg 2: Bestemme dimensjonerende nedbørstatistikk for trinn 2

Det er antatt en konstant klimafaktor på 1,40. Dimensjonerende nedbørstatistikk uten og med klimafaktor for gjentakintervall på 20 år er vist nedenfor.

t_r [min]	10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440	(Regnvarighet)
$P_{20 \text{ år}}$ [mm]	15.2	19.2	23	27.3	32.1	35.6	38.6	41	45.3	55.7	68.3	78.6	(Nedbør med 20 års gjentakintervall)
$P_{20 \text{ år}} \cdot K_f$ [mm]	21.3	26.9	32.2	38.2	44.9	49.8	54.0	57.4	63.4	78.0	95.6	110.0	(Nedbør med 20 års gjentakintervall og klimafaktor 1,40)

Steg 3: Bestemme maksimalt og midlere påslipp til offentlig avløpsledning ved trinn 2

Det tillates et maksimalt påslipp på 10 l/s per ha. Gitt utstrekningen til planområdet tillates det følgende maksimale påslipp:

$$Q_{maks} = 10 \frac{l}{s \text{ ha}} \cdot (6000 \text{ m}^2) \cdot \frac{1 \text{ ha}}{10000 \text{ m}^2} = 6,0 \text{ l/s}$$

Maksimalt påslipp vil i prinsippet bare opptre når magasinet er fullt. For å anslå et midlere påslipp som representerer påslippet gjennom hele nedbørhendelsen, multipliseres det maksimale påslippet med en faktor på 0,70:

$$Q_{mid} = 6,0 \text{ l/s} \cdot 0,70 = 4,2 \text{ l/s}$$

Steg 4: Bestemme avrenningsvolum fra grønt tak

For det grønne taket, som vil fange opp de første 8 mm av regnet og videreføre alt over dette, kan avrenningsvolumet beregnes etter følgende formel:

$$V_{inn,tak} = 2000 \text{ m}^2 \cdot (P \cdot 1,40 - 0,008 \text{ m})$$

Det bemerkes at leddet $(P \cdot 1,40 - 0,008 \text{ m})$ ikke skal ha verdi mindre enn 0.

I tabellen nedenfor er avrenningen fra grønt ekstensivt tak ($V_{inn,tak}$) beregnet.

t_r [min]	10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440	(Regnvarighet)
$P_{20 \text{ år}} \cdot K_f$ [mm]	21.3	26.9	32.2	38.2	44.9	49.8	54.0	57.4	63.4	78.0	95.6	110.0	(Nedbør med 20 års gjentakintervall og klimafaktor 1,40)
$V_{inn,tak}$ [m ³]	27	38	48	60	74	84	92	99	111	140	175	204	(Avrenningsvolum for grønt tak fra den rasjonale formel)

Steg 5: Bestemme nødvendig fordrøyningsvolum i magasin

Ved dimensjonering av fordrøying benyttes regnenvelopmetoden. Det innebærer at differansen mellom avrenningsvolumet som tilføres og videreføres fra magasinet for hver enkelt regnvarighet beregnes. Største differanse blir dimensjonerende.

For å ivareta effekten av det grønne taket må avrenningsvolum fra de to overflatene (tak og terreng) beregnes separat. Avrenningen fra det grønne ekstensive taket ble utført i forrige steg. For terreng-arealet beregnes avrenningsvolumet for hver enkelt regnvarighet etter den rasjonale formel:

$$V_{inn,ter} = 0,74 \cdot 4000 \text{ m}^2 \cdot P \cdot 1,40$$

Det totale avrenningsvolumet blir da:

$$V_{inn} = V_{inn,tak} + V_{inn,ter}$$

Videre beregnet fordrøyningsbehovet for hver enkelt regnvarighet:

$$dV = V_{inn} - V_{ut}$$

I tabellen nedenfor er volum inn (V_{inn}) og ut (V_{ut}) magasinet samt differansen (dV) beregnet for hver enkelt regnvarighet. Fra tabellen kan vi se at den største differansen oppnås ved en regnvarighet på 360 minutter. Nødvendig magasinivolum for å fordrøye en nedbørhendelse med 20 års gjentakintervall, klimafaktor på 1,40 og maksimalt påslipp på 10 l/s per ha blir dermed 279 m³.

t_r [min]	10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440	(Regnvarighet)
$P_{20\text{ år}} \cdot K_f$ [mm]	21.3	26.9	32.2	38.2	44.9	49.8	54.0	57.4	63.4	78.0	95.6	110.0	(Nedbør med 20 års gjentakintervall og klimafaktor 1,40)
$V_{inn,tak}$ [m ³]	27	38	48	60	74	84	92	99	111	140	175	204	(Avrenningsvolum fra grønt tak via den rasjonale formel)
$V_{inn,ter}$ [m ³]	63	79	95	113	133	147	159	169	187	230	282	325	(Avrenningsvolum fra terreng via den rasjonale formel)
V_{inn} [m ³]	89	117	143	173	206	231	251	268	298	370	457	529	(Totalt avrenningsvolum)
V_{ut} [m ³]	3	4	5	8	11	15	23	30	45	91	181	363	(Utløp fra magasin)
dV [m ³]	87	113	138	166	195	216	229	238	253	279	276	166	(Differanse mellom volum inn og ut)

Steg 6: Angi hvor stor andel av flatene som håndteres i trinn 1

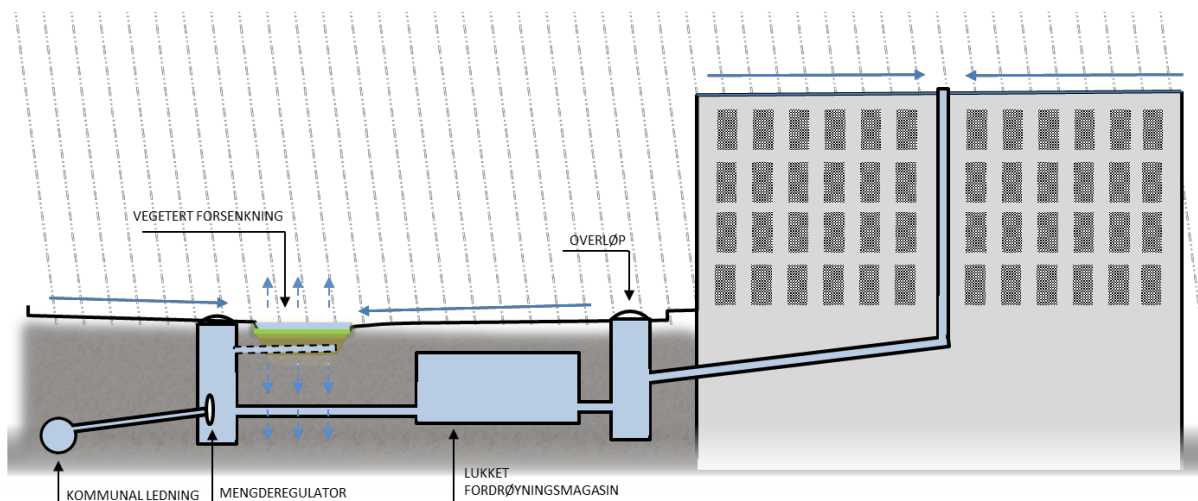
Forutsatt at magasinet er tett og ikke kommuniserer med omkringliggende masser vil all avrenning som føres til tradisjonelt magasin videreføres til kommunal avløpsledning. Ved nedbørmengder tilknyttet trinn 1, antas det dog at det permeable området i feltet (1 000 m²) ikke genererer avrenning. Tilsvarende antas det at 15 % av det tette belegget (450 m²) ikke generer avrenning ved nedbørmengder tilknyttet trinn 1. Videre antas det at det grønne ekstensive taket (2 000 m²) håndterer nedbørmengder i trinn 1.

Summen av arealene som ikke genererer avrenning ved trinn 1 er da 3 450 m².

Andelen av flatene som håndterer trinn 1 er da 58 %.

EKSEMPEL 3: REGNBED OG TRADISJONELT MAGASIN

Et planområde består av tak med utstrekning på 2 000 m² og et utomhus-areal hvor 1 000 m² opparbeides som permeabelt og 3 000 m² som tett dekke. Offentlig avløpsledning har begrenset kapasitet på ca. 10 l/s per ha. I dette eksempelet skal et regnbed dimensjoneres for å fange opp 95 % av årsavrenningen (trinn 1) og et fordrøyningsmagasin dimensjoneres for fremtidens 20 års nedbørhendelse (trinn 2). Situasjonen er illustrert nedenfor.



Steg 1: Beregne midlere avrenningskoeffisient

Det antas at tak har en avrenningskoeffisient på 1,00, at permeable flater har en avrenningskoeffisient på 0,40 og at tett dekke har en avrenningskoeffisient på 0,85. Midlere avrenningskoeffisienten kan da beregnes som følgende:

$$\varphi_{mid} = \frac{2000 \text{ m}^2 \cdot 1,00 + 1000 \text{ m}^2 \cdot 0,40 + 3000 \text{ m}^2 \cdot 0,85}{2000 \text{ m}^2 + 1000 \text{ m}^2 + 3000 \text{ m}^2} = \frac{4950 \text{ m}^2}{6000 \text{ m}^2} = 0,83$$

Steg 2: Beregne midlere avrenningskoeffisient for flater med avrenning til regnbed

Ettersom vi skal dimensjonere et regnbed for flater på bakkenivå må midlere avrenningskoeffisient for flatene på bakkenivå beregnes isolert:

$$\varphi_{mid} = \frac{1000 \text{ m}^2 \cdot 0,40 + 3000 \text{ m}^2 \cdot 0,85}{1000 \text{ m}^2 + 3000 \text{ m}^2} = \frac{2950 \text{ m}^2}{4000 \text{ m}^2} = 0,74$$

Steg 3: Bestemme dimensjonerende nedbørstatistikk for trinn 1

Det er antatt at nedbørmengder tilknyttet 95 % av årsavrenningen er en representativ grense for trinn 1. Verdier for dette er gitt i tabellen nedenfor.

t _r [min]	10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440	(Regnvarighet)
P _{95 %} [mm]	1.4	1.8	2.2	2.9	3.6	4.4	5.5	6.7	8.3	12.2	17.3	24.0	(Dimensjonerende nedbør for X = 95 %)

Steg 4: Bestemme nødvendig størrelse på regnbed for trinn 1

Ved dimensjonering av regnbed benyttes regnvelopmetoden. Det innebærer at nødvendig overflate-areal på regnbedet beregnes for hver enkelt regnvarighet og at største regnbed-overflate blir dimensjonerende.

Avrenningsvolumet som tilføres regnbed for hver enkelt regnvarighet beregnes etter den rasjonale formel (jfr. kap. 5.1.2):

$$V_{inn,rb\ P95\%} = 0,74 \cdot 4\,000\ m^2 \cdot P_{95\%}$$

Ved beregning av overflate-areale på regnbed kan følgende formel benyttes:

$$A_{rb} = \frac{V_{inn}}{h_{maks} + K_h \cdot t_r}$$

Hvor A_{rb} er overflate-areale til regnbedet [m^2], V_{inn} er avrenningsvolumet som tilføres regnbedet [m^3], h_{maks} er midlere forsenkning av overflaten på regnbedet sammenliknet med omkringliggende overflate [m], K_h er midlere infiltrasjonsevne på overflaten av regnbedet [m/min] og t_r er regnvarigheten [min].

Det antas i det videre at midlere forsenkning er 25 cm og at infiltrasjonsevnen i regnbedet er 0,0017 m/min (tilsvarende ca. 10 cm/t).

I tabellen nedenfor er volum inn til regnbed samt nødvendig areal på regnbed beregnet. Fra tabellen kan vi se at den største differansen oppnås ved en regnvarighet på 180 minutter. Nødvendig regnbed-areal for å fange opp 95 % av årsavrenningen fra terrenget blir dermed 45 m^2 . Overflaten til regnbedet utgjør ca. 1 % av nedbørfeltet som bidrar med avrenning til regnbedet.

t_r [min]	10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440	(Regnvarighet)
$P_{95\%}$ [mm]	1.4	1.8	2.2	2.9	3.6	4.4	5.5	6.7	8.3	12.2	17.3	24.0	(Dimensjonerende nedbør for X = 95 %)
$V_{inn,rb, P95\%}$ [m^3]	4	5	6	9	11	13	16	20	24	36	51	71	(Avrenningsvolum til regnbed fra den rasjonale formel)
A_{rb} [m^2]	15	19	23	29	33	37	41	44	45	42	35	27	(Nødvendig areal regnbed)

Generelt, hvis regnbedoverflaten blir stor og utgjør en betydelig andel av nedbørfeltet kan det være hensiktsmessig å sette avrenningskoeffisienten for regnbed-areale til 1,00.

Steg 5: Bestemme dimensjonerende nedbørstatistikk for trinn 2

Det er antatt en konstant klimafaktor på 1,40. Dimensjonerende nedbørstatistikk uten og med klimafaktor for 20 års nedbør.

t_r [min]	10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440	(Regnvarighet)
$P_{20\text{år}}$ [mm]	15.2	19.2	23	27.3	32.1	35.6	38.6	41	45.3	55.7	68.3	78.6	(Nedbør med 20 års gjentakintervall)
$P_{20\text{år}} \cdot K_f$ [mm]	21.3	26.9	32.2	38.2	44.9	49.8	54.0	57.4	63.4	78.0	95.6	110.0	(Nedbør med 20 års gjentakintervall og klimafaktor 1,40)

Steg 6: Bestemme kapasitet i regnbedet

Regnbedet vil ha kapasitet til å håndtere også deler av nedbørmengdene tilknyttet trinn 2. Kapasiteten til regnbedet utgjøres av det som rekker å infiltrere i løpet av regnhendelsen og det som kan lagres på overflaten. Det som rekker å infiltrere i løpet av regnhendelsen kan beregnes for hver enkelt regnvarighet som følgende:

$$V_{inf} = 0,0017\ m/min \cdot 45\ m^2 \cdot t_r$$

Tilsvarende kan det som lagres på overflaten, og som er uavhengig av regnvarigheten, beregnes som følgende:

$$V_{over} = 0,25\ m \cdot 45,0\ m^2 = 11\ m^3$$

Summen av disse to leddene utgjør kapasiteten til regnbedet:

$$V_{inf+over} = V_{inf} + V_{over}$$

Denne tilnærmingen for å beregne kapasiteten til regnbed forutsetter imidlertid at infiltrasjonsforholdene i stedlige masser er like god eller bedre enn den som er forutsatt for regnbed-overflaten (10 cm/t). Når dette ikke er tilfelle er det anbefalt å drenere infiltrasjonsmassene slik at det ikke oppstår stående vann i regnbedet over tid. Som vist i illustrasjonen innledningsvis i dette eksemplet er det antatt at dreinsledningen føres til ledningsanlegget. For dimensjonerende regnhendelser vil derfor dreinsvann fra regnbedet bidra til å fylle magasinet. Som en tilnærming for å anslå den faktiske kapasiteten til regnbedet kan en betrakte det tilgjengelige porevolumet og overflatevolumet:

$$V_{rb,maks} = (h_{maks} + n \cdot d) \cdot A_{rb}$$

Hvor h_{maks} er midlere vannstand på overflaten [m], n er den effektive porøsiteten i infiltrasjonsmassene [-] og d er dybden på infiltrasjonsmassene [m]. Ved å anta en porøsitet på 0,30 og en dybde på 0,75 m oppnås følgende maksimale kapasitet:

$$V_{rb,maks} = (0,25 \text{ m} + 0,30 \cdot 0,75 \text{ m}) \cdot 45 \text{ m}^2 = 21 \text{ m}^3$$

I et slikt tilfelle vil kapasiteten til regnbedet for hver enkelt regnvarighet kunne anslås som den minste verdien av $V_{inf+over}$ og $V_{rb,maks}$. I tabellen nedenfor er dette beregnet.

t_r [min]	10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440	(Regnvarighet)
V_{inf} [m ³]	1	1	1	2	3	4	7	9	13	27	53	107	(Teoretisk volum som infiltrerer)
V_{over} [m ³]	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	(Volum som kan lagres på overflaten)
$V_{inf+over}$ [m ³]	12	12	13	13	14	16	18	20	24	38	65	118	(Volum på overflaten og teoretisk infiltrasjon)
V_{rb} [m ³]	12	12	13	13	14	16	18	20	21	21	21	21	(Kapasitet i regnbed)

Steg 7: Bestemme maksimalt og midlere påslipp til offentlig avløpsledning ved trinn 2

Det tillates et maksimalt påslipp på 10 l/s per ha. Gitt utstrekningen til planområdet tillates det følgende maksimale påslipp:

$$Q_{maks} = 10 \frac{l}{s \cdot ha} (6000 \text{ m}^2) \cdot \frac{1 \text{ ha}}{10000 \text{ m}^2} = 6,0 \text{ l/s}$$

Maksimalt påslipp vil i prinsippet bare opptre når magasinet er fullt. For å anslå et midlere påslipp som representerer påslippet gjennom hele nedbørhendelsen multipliseres det maksimale påslippet med en faktor på 0,70:

$$Q_{mid} = 6,0 \text{ l/s} \cdot 0,70 = 4,2 \text{ l/s}$$

Steg 8: Bestemme nødvendig fordrøyningsvolum i magasin for håndtering av trinn 2

Ved dimensjonering av fordrøying benyttes regnvelopmetoden. Det innebærer at differansen mellom avrenningsvolumet som tilføres og videreføres fra magasinet for enkelt regnvarighet beregnes. Største differanse blir dimensjonerende.

Avrenningsvolumet som tilføres magasinet for hver enkelt regnvarighet beregnes etter den rasjonale formel:

$$V_{inn} = 0,83 \cdot 6000 \text{ m}^2 \cdot P \cdot 1,40$$

Avrenningsvolumet som videreføres til kommunal ledning for hver enkelt regnvarighet beregnes ved å multiplisere midlere påslipp med regnvarigheten (t_r):

$$V_{ut} = 4,2 \text{ l/s} \cdot t_r$$

Fordrøyningsbehovet beregnes så for hver enkelt regnvarighet ved:

$$dV = V_{inn} - V_{ut} - V_{rb}$$

I tabellen nedenfor er avrenningsvolum (V_{inn}), regnbedets kapasitet (V_{rb}) og utløp fra magasinet (V_{ut}) samt differansen (dV) beregnet for hver enkelt regnvarighet. Fra tabellen kan vi se at den største differansen oppnås ved en regnvarighet på 360 minutter. Nødvendig magasinivolum for å fordrøye en nedbørhendelse med 20 års gjentakintervall, klimafaktor på 1,40 og maksimalt påslipp på 10 l/s per ha blir dermed 274 m³.

t_r [min]	10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440	(Regnvarighet)
$P_{20\text{år}} \cdot K_f$ [mm]	21.3	26.9	32.2	38.2	44.9	49.8	54.0	57.4	63.4	78.0	95.6	110.0	(Nedbør med 20 års gjentakintervall og klimafaktor 1,40)
V_{inn} [m ³]	105	133	159	189	222	247	267	284	314	386	473	545	(Avrenningsvolum fra den rasjonale formel)
$V_{ut, \text{mag}}$ [m ³]	3	4	5	8	11	15	23	30	45	91	181	363	(Utløp fra magasin)
V_{rb} [m ³]	12	12	13	13	14	16	18	20	21	21	21	21	(Kapasitet i regnbed)
dV [m ³]	91	117	142	168	197	216	227	234	247	274	271	161	(Differanse mellom volum inn og ut)

Steg 9: Angi hvor stor andel av flatene som håndteres i trinn 1

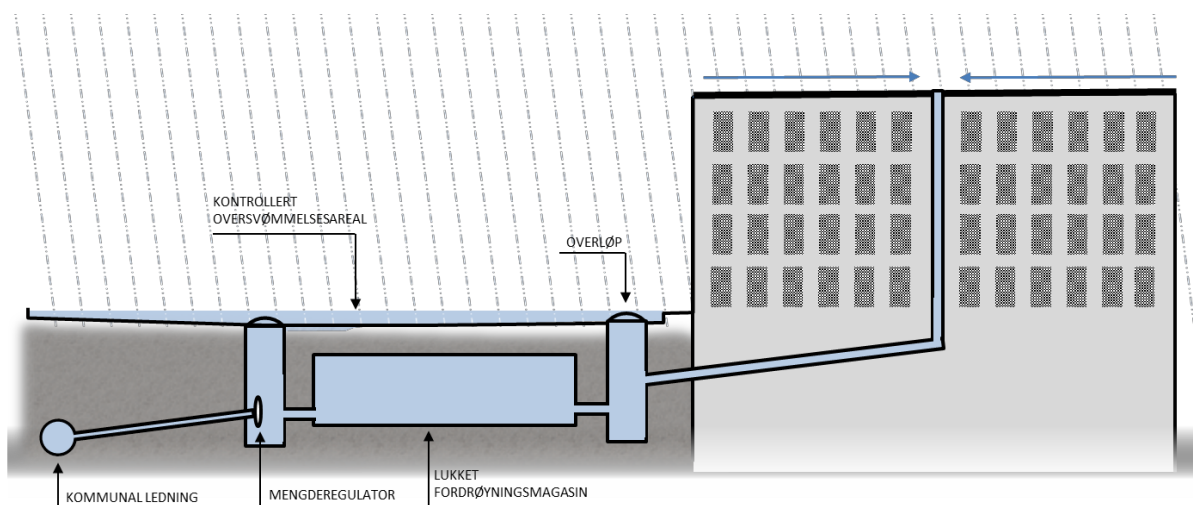
Avrenning fra terreng (4 000 m²) føres til regnbed dimensjonert for nedbørmengder i trinn 1. Takavrenning føres til magasin. Forutsatt at magasinet er tett og ikke kommuniserer med omkringliggende masser vil all takavrenning videreføres til kommunal avløpsledning.

Summen av arealene som ikke genererer avrenning ved trinn 1 er da 4 000 m².

Andelen av flatene som håndterer trinn 1 er da 67 %.

EKSEMPEL 4: ÅPENT BASSENG OG TRADISJONELT MAGASIN

Et planområdet består av tak med utstrekning på 2000 m² og et utomhus-areal hvor 1000 m² opparbeides som permeabelt og 3000 m² som tett dekke. 600 m² av arealet på terreng kan tilrettelegges for kontrollert oversvømmelse (åpent basseng). Ettersom dette arealet til daglig er i bruk er det ønskelig at overvann ikke samles her ofte. Det aksepteres dog at en oversvømmelse kan opptre påregnelig én gang hvert femte år. Offentlig avløpsledning har ellers begrenset kapasitet på ca. 10 l/s per ha. I dette eksempelet skal et underjordisk fordrøyningsmagasin dimensjoneres for 5 års nedbør mens fordrøyningsmagasin og kontrollert oversvømmelsesareal sammen skal håndtere 20 års nedbør (trinn 2). Situasjonen er illustrert nedenfor.



Steg 1: Beregne midlere avrenningskoeffisient

Det antas at tak har en avrenningskoeffisient på 1,00, at permeable flater har en avrenningskoeffisient på 0,40 og at tett dekke har en avrenningskoeffisient på 0,85. Midlere avrenningskoeffisienten kan da beregnes som følgende:

$$\varphi_{mid} = \frac{2000 \text{ m}^2 \cdot 1,00 + 1000 \text{ m}^2 \cdot 0,40 + 3000 \text{ m}^2 \cdot 0,85}{2000 \text{ m}^2 + 1000 \text{ m}^2 + 3000 \text{ m}^2} = \frac{4950 \text{ m}^2}{6000 \text{ m}^2} = 0,83$$

Steg 2: Bestemme dimensjonerende nedbørstatistikk for trinn 2

Fordrøyningsmagasinet skal dimensjoneres for 5 års nedbør mens fordrøyningsmagasin og kontrollert oversvømmelsesareal samlet skal kunne håndtere 20 års nedbør i fremtidens klima. Det er antatt en konstant klimafaktor på 1,40. Dimensjonerende nedbørstatistikk er vist nedenfor.

t_r [min]	10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440	(Regnvarighet)
$P_{5\text{ år}}$ [mm]	11.6	14.3	16.5	19.3	22.5	24.9	27.7	30.2	34.3	44.3	55.7	66.5	(Nedbør med 5 års gjentakintervall)
$P_{20\text{ år}}$ [mm]	15.2	19.2	23.0	27.3	32.1	35.6	38.6	41.0	45.3	55.7	68.3	78.6	(Nedbør med 20 års gjentakintervall)
$P_{20\text{ år}} \cdot K_f$ [mm]	21.3	26.9	32.2	38.2	44.9	49.8	54.0	57.4	63.4	78.0	95.6	110.0	(Nedbør med 20 års gjentakintervall og klimafaktor 1,40)

Steg 3: Bestemme maksimalt og midlere påslipp til offentlig avløpsledning ved trinn 2

Det tillates et maksimalt påslipp på 10 l/s per ha. Gitt utstrekningen til planområdet tillates det følgende maksimale påslipp:

$$Q_{maks} = 10 \frac{l}{s \cdot ha} (6000 m^2) \cdot \frac{1 na}{10000 m^2} = 6,0 l/s$$

Maksimalt påslipp vil i prinsippet bare opptre når magasinet er fullt. For å anslå et midlere påslipp som representerer påslippet gjennom hele nedbørhendelsen multipliseres det maksimale påslippet med en faktor på 0,70:

$$Q_{mid} = 6,0 l/s \cdot 0,70 = 4,2 l/s$$

Steg 4: Bestemme nødvendig totalt fordrøyningsvolum for håndtering av trinn 2

Ved dimensjonering av fordrøying benyttes regnenvelopmetoden. Det innebærer at differansen mellom avrenningsvolumet som tilføres og videreføres fra magasinet for hver enkelt regnvarighet beregnes. Største differanse blir dimensjonerende.

Avrenningsvolumet som tilføres fordrøyningsløsning for hver enkelt regnvarighet beregnes etter den rasjonale formel:

$$V_{inn} = 0,83 \cdot 6000 m^2 \cdot P \cdot 1,40$$

Avrenningsvolumet som videreføres til kommunal ledning for hver enkelt regnvarighet beregnes ved å multiplisere midlere påslipp med regnvarigheten (t_r):

$$V_{ut} = 4,2 l/s \cdot t_r$$

Fordrøyningsbehovet beregnes så for hver enkelt regnvarighet:

$$dV = V_{inn} - V_{ut}$$

I tabellen nedenfor er volum inn (V_{inn}) og ut (V_{ut}) av fordrøyningsløsningen samt differansen (dV) beregnet for hver enkelt regnvarighet. Fra tabellen kan vi se at den største differansen oppnås ved en regnvarighet på 360 minutter.

Nødvendig volum for å fordrøye en nedbørhendelse med 20 års gjentakintervall, klimafaktor på 1,40 og maksimalt påslipp på 10 l/s per ha blir dermed 295 m³.

t_r [min]	10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440	(Regnvarighet)
$P_{20 \text{ år}} \cdot K_f$ [mm]	21.3	26.9	32.2	38.2	44.9	49.8	54.0	57.4	63.4	78.0	95.6	110.0	(Nedbør med 20 års gjentakintervall og klimafaktor 1,40)
V_{inn} [m ³]	105	133	159	189	222	247	267	284	314	386	473	545	(Avrenningsvolum fra den rasjonale formel)
V_{ut} [m ³]	3	4	5	8	11	15	23	30	45	91	181	363	(Utløp fra magasin)
dV [m ³]	103	129	154	182	211	232	245	254	269	295	292	182	(Differanse mellom volum inn og ut)

Steg 5: Bestemme midlere påslipp til offentlig avløpsledning ved 5 års nedbør

Ettersom dimensjonerende trykkehøyde ikke vil opptre ved 5 års nedbør, bør forholdet mellom midlere og maks utløp reduseres ytterligere ved beregning av utløp ved 5 års nedbør. For å anslå et midlere påslipp som representerer påslippet gjennom hele hendelsen ved 5 års nedbør multipliseres det maksimale påslippet med en faktor på 0,60:

$$Q_{mid} = 6,0 l/s \cdot 0,60 = 3,6 l/s$$

Steg 6: Bestemme nødvendig totalt magasin størrelse for håndtering av 5 års nedbør

Tilsvarende som i steg 4, benyttes regnvelopmetoden ved dimensjonering av fordrøyning. Fordrøyningsbehovet beregnes for hver enkelt regnvarighet som:

$$dV = V_{inn} - V_{ut}$$

I tabellen nedenfor er volum inn (V_{inn}) og ut (V_{ut}) av fordrøyningsløsningen samt differansen (dV) beregnet for hver enkelt regnvarighet. Fra tabellen kan vi se at den største differansen oppnås ved en regnvarighet på 360 minutter.

Nødvendig magasin volum for å fordrøye en nedbørhendelse med 5 års gjentakintervall blir dermed 142 m³.

t_r [min]	10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440	(Regnvarighet)
$P_{5\text{ år}}$ [mm]	11.6	14.3	16.5	19.3	22.5	24.9	27.7	30.2	34.3	44.3	55.7	66.5	(Nedbør med 5 års gjentakintervall)
V_{inn} [m ³]	57	71	82	96	111	123	137	149	170	219	276	329	(Avrenningsvolum fra den rasjonale formel)
V_{ut} [m ³]	2	3	4	6	10	13	19	26	39	78	156	311	(Utløp fra magasin)
dV [m ³]	55	68	77	89	102	110	118	124	131	142	120	18	(Differanse mellom volum inn og ut)

Steg 7: Beregne volum og maks vanndybde for kontrollert oversvømmelsesareal

I steg 4 ble det beregnet et totalt nødvendig fordrøyningsvolum på 295 m³. Av dette volumet utgjør magasinet 142 m³. Nødvendig volum i kontrollert oversvømmelsesareal blir da 154 m³.

Med et areal på 600 m² vil oversvømmelsesarealet ha en vanndybde på 26 cm ved 20 års nedbør med klimafaktor 1,40. Oversvømmelsesarealet vil ikke tre i kraft før magasinet er fullt, noe som påregnelig vil opptre én gang hvert femte år.

Steg 8: Angi hvor stor andel av flatene som håndteres i trinn 1

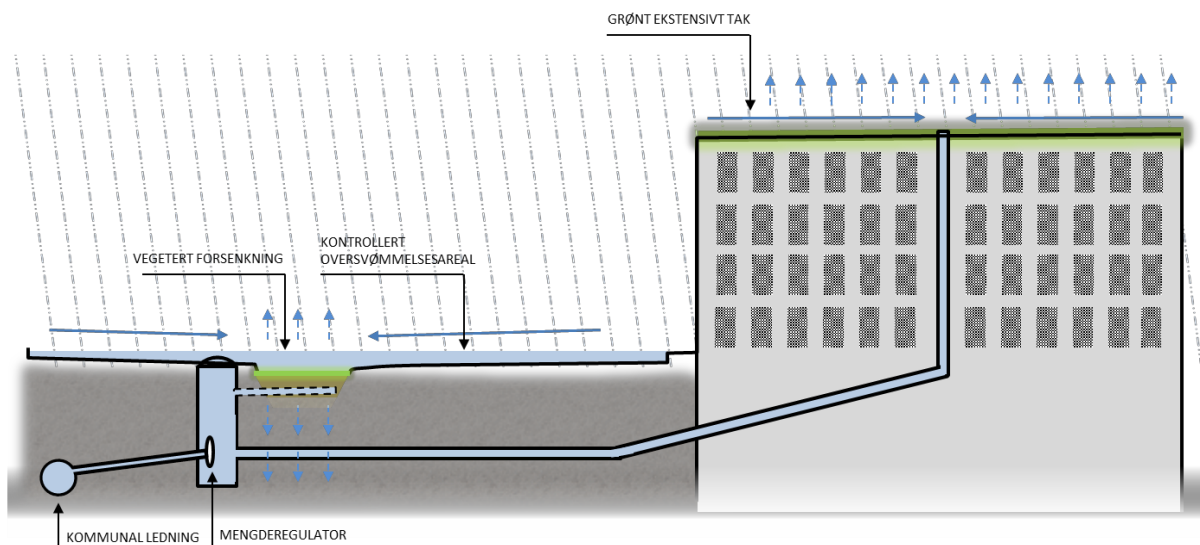
Forutsatt at magasinet er tett og ikke kommuniserer med omkringliggende masser vil all avrenning som føres til tradisjonelt magasin videreføres til kommunal avløpsledning. Ved nedbørmengder tilknyttet trinn 1, antas det dog at det permeable området i feltet (1 000 m²) ikke genererer avrenning. Tilsvarende antas det at 15 % av det tette belegget (450 m²) ikke generer avrenning ved nedbørmengder tilknyttet trinn 1.

Summen av arealene som ikke genererer avrenning ved trinn 1 er da 1 450 m².

Andelen av flatene som håndterer trinn 1 er da 24 %.

EKSEMPEL 5: GRØNT TAK, REGNBED OG ÅPENT BASSENG

Et planområdet består av tak med utstrekning på 2000 m² og et utomhus-areal hvor 1000 m² opparbeides som permeabelt og 3000 m² som tett dekke. Offentlig avløpsledning har begrenset kapasitet på ca. 10 l/s per ha. I dette eksempelet skal et regnbed dimensjoneres for 5 års nedbør og et åpent fordrøyningsbasseng dimensjoneres for fremtidens 20 års nedbør (trinn 2). Taket opparbeides som grønt ekstensivt tak. Situasjonen er illustrert nedenfor.



Det finnes flere tilnærminger til dimensjonering av fordrøyningsløsninger i felt med grønne tak. Én tilnærming er å anta at det grønne taket reduserer avrenningskoeffisienten fra 0,95 til f.eks. 0,65. Denne tilnærmingen har imidlertid en begrensning da den antar en konstant effekt av det grønne taket uavhengig av nedbørmengden og regnvarigheten. Det er generelt antatt at grønne ekstensive tak typisk har god evne til å håndtere korte nedbørhendelser, men begrenset effekt for lange nedbørhendelser når vegetasjon og vekstmediet blir vannmettet. I det videre er det benyttet en tilnærming der det grønne ekstensive taket fanger opp 8 mm nedbør uavhengig av regnvarigheten. Det bemerkes at grønne tak også vil kunne forlenge konsentrasjonstiden på avrenningen. Denne effekten er imidlertid ikke tilstrekkelig dokumentert og er derfor ikke medregnet.

Steg 1: Beregne midlere avrenningskoeffisient for flater utenom grønt tak

Ettersom vi senere beregner effekten av taket spesifikt, er det i første omgang mest relevant å beregne midlere avrenningskoeffisient for flatene på bakkenivå. Midlere avrenningskoeffisient for flatene på bakkenivå kan beregnes som følgende:

$$\varphi_{mid} = \frac{1000 \text{ m}^2 \cdot 0,40 + 3000 \text{ m}^2 \cdot 0,85}{1000 \text{ m}^2 + 3000 \text{ m}^2} = \frac{2950 \text{ m}^2}{4000 \text{ m}^2} = 0,74$$

Steg 2: Beregne midlere avrenningskoeffisient for flater med avrenning til regnbed

Ettersom vi skal dimensjonere et regnbed for flater på bakkenivå må midlere avrenningskoeffisient for flatene på bakkenivå beregnes isolert. I dette eksemplet blir det tilsvarende regnestykket som i steg 1.

$$\varphi_{mid} = \frac{1000 \text{ m}^2 \cdot 0,40 + 3000 \text{ m}^2 \cdot 0,85}{1000 \text{ m}^2 + 3000 \text{ m}^2} = \frac{2950 \text{ m}^2}{4000 \text{ m}^2} = 0,74$$

Steg 3: Bestemme dimensjonerende nedbørstatistikk for trinn 2

Regnbedet skal dimensjoneres for 5 års nedbør mens kontrollert oversvømmelsesareal sammen med regnbed og grønt tak skal kunne håndtere en 20 års nedbør i fremtidens klima. Det er antatt en konstant klimafaktor på 1,40. Dimensjonerende nedbørstatistikk er vist nedenfor.

t_r [min]	10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440	(Regnvarighet)
$P_{5\text{ år}}$ [mm]	11.6	14.3	16.5	19.3	22.5	24.9	27.7	30.2	34.3	44.3	55.7	66.5	(Nedbør med 5 års gjentakintervall)
$P_{20\text{ år}}$ [mm]	15.2	19.2	23.0	27.3	32.1	35.6	38.6	41.0	45.3	55.7	68.3	78.6	(Nedbør med 20 års gjentakintervall)
$P_{20\text{ år}} \cdot K_f$ [mm]	21.3	26.9	32.2	38.2	44.9	49.8	54.0	57.4	63.4	78.0	95.6	110.0	(Nedbør med 20 års gjentakintervall og klimafaktor 1,40)

Steg 4: Bestemme avrenningsvolum fra grønt tak for 5 års nedbør og 20 års nedbør med klimafaktor 1,40

For det grønne taket, som vil fange opp de første 8 mm av regnet og videreføre alt over dette, kan avrenningsvolumet beregnes etter følgende formel:

$$V_{inn,tak} = 2000 \text{ m}^2 \cdot (P_{dim} - 0,008 \text{ m})$$

Det bemerkes at leddet $(P_{dim} - 0,008 \text{ m})$ ikke kan ha verdi mindre enn 0 og dette må evt. justeres for.

I tabellen nedenfor er avrenningen fra grønt ekstensivt tak ($V_{inn,tak}$) beregnet for henholdsvis 5 års nedbør og 20 års nedbør med klimafaktor 1,40.

t_r [min]	10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440	(Regnvarighet)
$P_{5\text{ år}}$ [mm]	11.6	14.3	16.5	19.3	22.5	24.9	27.7	30.2	34.3	44.3	55.7	66.5	(Nedbør med 5 års gjentakintervall)
$V_{inn,tak}$ [m ³]	7	13	17	23	29	34	39	44	53	73	95	117	(Avrenningsvolum for grønt tak fra den rasjonale formel)
$P_{20\text{ år}} \cdot K_f$ [mm]	21.3	26.9	32.2	38.2	44.9	49.8	54.0	57.4	63.4	78.0	95.6	110.0	(Nedbør med 20 års gjentakintervall og klimafaktor 1,40)
$V_{inn,tak}$ [m ³]	27	38	48	60	74	84	92	99	111	140	175	204	(Avrenningsvolum for grønt tak fra den rasjonale formel)

Steg 5: Bestemme nødvendig størrelse på regnbed

Ved dimensjonering av regnbed benyttes regnvelopmetoden. Det innebærer at nødvendig overflateareal på regnbedet beregnes for hver enkelt regnvarighet og at største regnbed-overflate blir dimensjonerende.

Avrenningsvolumet som tilføres regnbed for hver enkelt regnvarighet beregnes etter den rasjonale formel:

$$V_{inn,rb} = 0,74 \cdot 4\,000 \text{ m}^2 \cdot P_{5\text{ år}}$$

Ved beregning av overflate-areale på regnbed kan følgende formel benyttes:

$$A_{rb} = \frac{V_{inn,rb}}{h_{maks} + K_h t_r}$$

Hvor A_{rb} er overflate-areale til regnbedet [m²], $V_{inn,rb}$ er avrenningsvolumet som tilføres regnbedet [m³], h_{maks} er midlere forsenkning av overflaten på regnbedet sammenliknet med omkringliggende overflate [m], K_h er midlere infiltrasjonsevne på overflaten av regnbedet [m/min] og t_r er regnvarigheten [min].

Det antas i det videre at midlere forsenkning er 25 cm og at infiltrasjonsevnen i regnbedet er 0,0017 m/min (tilsvarende ca. 10 cm/t).

I tabellen nedenfor er volum inn til regnbed samt nødvendig areal på regnbed beregnet. Fra tabellen kan vi se at den største differansen oppnås ved en regnvarighet på 60 minutter. Nødvendig regnbed-areal for å fange opp 5 års nedbør fra terrenget blir dermed 306 m². Overflaten til regnbedet utgjør ca. 8 % av nedbørfeltet som bidrar

med avrenning til regnbedet. Generelt, hvis regnbedoverflaten blir stor og utgjør en betydelig andel av nedbørfeltet kan det være hensiktsmessig å sette avrenningskoeffisienten for regnbed-arealet til 1,00.

t_r [min]	10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440	(Regnvarighet)
P_5 år [mm]	11.6	14.3	16.5	19.3	22.5	24.9	27.7	30.2	34.3	44.3	55.7	66.5	(Nedbør med 5 års gjentakintervall)
$V_{\text{inn,tak}}$ [m ³]	7	13	17	23	29	34	39	44	53	73	95	117	(Avrenningsvolum fra grønt tak fra den rasjonale formel)
$V_{\text{inn,ter}}$ [m ³]	34	42	49	57	66	73	82	89	101	131	164	196	(Avrenningsvolum fra terreng via den rasjonale formel)
V_{inn} [m ³]	41	55	66	80	95	107	121	133	154	203	260	313	(Avrenningsvolum til regnbed)
A_{rb} [m ²]	155	199	232	265	293	306	303	297	280	239	179	118	(Nødvendig areal regnbed)

Steg 6: Bestemme kapasitet i regnbedet

Regnbedet vil ha kapasitet til å håndtere også deler av nedbørmengdene tilknyttet trinn 2. Kapasiteten til regnbedet utgjøres av det som rekker å infiltrere i løpet av regnhendelsen og det som kan lagres på overflaten. Det som rekker å infiltrere i løpet av regnhendelsen kan beregnes for hver enkelt regnvarighet som følgende:

$$V_{\text{inf}} = 0,0017 \text{ m/min} \cdot 306 \text{ m}^2 \cdot t_r$$

Tilsvarende kan det som lagres på overflaten, og som er uavhengig av regnvarigheten, beregnes som følgende:

$$V_{\text{over}} = 0,25 \text{ m} \cdot 306 \text{ m}^2 = 77 \text{ m}^3$$

Summen av disse to leddene utgjør kapasiteten til regnbedet:

$$V_{\text{inf+over}} = V_{\text{inf}} + V_{\text{over}}$$

Denne tilnærmingen for å beregne kapasiteten til regnbed forutsetter imidlertid at infiltrasjonsforholdene i stedlige masser er like god eller bedre enn den som er forutsatt for regnbed-overflaten (10 cm/t). Når dette ikke er tilfelle er det anbefalt å drenere infiltrasjonsmassene slik at det ikke oppstår stående vann i regnbedet over tid. Som vist i illustrasjonen innledningsvis i dette eksemplet er det antatt at dreinsledningen føres til ledningsanlegget. For dimensjonerende regnhendelser vil derfor dreinsvann fra regnbedet bidra til å fylle magasinet. Som en tilnærming for å anslå den faktiske kapasiteten til regnbedet kan en betrakte det tilgjengelige porevolumet og overflatevolumet:

$$V_{rb,maks} = (h_{maks} + n \cdot d) \cdot A_{rb}$$

Hvor h_{maks} er midlere vannstand på overflaten [m], n er den effektive porøsiteten i infiltrasjonsmassene [-] og d er dybden på infiltrasjonsmassene [m]. Ved å anta en porøsitet på 0,30 og en dybde på 0,75 m oppnås følgende maksimale kapasitet:

$$V_{rb,maks} = (0,25 \text{ m} + 0,30 \cdot 0,75 \text{ m}) \cdot 306 \text{ m}^2 = 146 \text{ m}^3$$

I et slikt tilfelle vil kapasiteten til regnbedet for hver enkelt regnvarighet kunne anslås som den minste verdien av $V_{\text{inf+over}}$ og $V_{rb,maks}$. I tabellen nedenfor er dette beregnet.

t_r [min]	10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440	(Regnvarighet)
V_{inf} [m ³]	5	8	10	15	23	31	46	61	92	184	368	735	(Teoretisk volum som infiltrerer)
V_{over} [m ³]	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	(Volum som kan lagres på overflaten)
$V_{\text{inf+over}}$ [m ³]	82	84	87	92	100	107	123	138	169	260	444	812	(Volum på overflaten og teoretisk infiltrasjon)
V_{rb} [m ³]	82	84	87	92	100	107	123	138	146	146	146	146	(Kapasitet i regnbed)

Steg 7: Bestemme maksimalt og midlere påslipp til offentlig avløpsledning ved trinn 2

Det tillates et maksimalt påslipp på 10 l/s per ha. Gitt utstrekningen til planområdet tillates det følgende maksimale påslipp:

$$Q_{maks} = 10 \frac{\text{l}}{\text{s ha}} (6000 \text{ m}^2) \cdot \frac{1 \text{ ha}}{10000 \text{ m}^2} = 6,0 \text{ l/s}$$

Maksimalt påslipp vil i prinsippet bare opptre når magasinet er fullt. For å anslå et midlere påslipp som representerer påslippet gjennom hele nedbørhendelsen multipliseres det maksimale påslippet med en faktor på 0,70:

$$Q_{mid} = 6,0 \text{ l/s} \cdot 0,70 = 4,2 \text{ l/s}$$

Steg 8: Bestemme nødvendig fordrøyningsvolum i magasin for håndtering av trinn 2

Ved dimensjonering av fordrøyning benyttes regnenvelopmetoden. Det innebærer at differansen mellom avrenningsvolumet som tilføres og videreføres fra magasinet for enkelt regnvarighet beregnes. Største differanse blir dimensjonerende.

Avrenningsvolumet som tilføres fordrøyningsløsningen for hver enkelt regnvarighet beregnes som summen av avrenning fra taket og avrenningen fra terreng:

$$V_{inn} = V_{tak} + V_{ter}$$

Avrenningsvolumet som videreføres til kommunal ledning for hver enkelt regnvarighet beregnes ved å multiplisere midlere påslipp med regnvarigheten (t_r):

$$V_{ut} = 4,2 \text{ l/s} \cdot t_r$$

Fordrøyningsbehovet beregnes så for hver enkelt regnvarighet ved:

$$dV = V_{inn} - V_{ut} - V_{rb}$$

I tabellen nedenfor er avrenningsvolum (V_{inn}), regnbedets kapasitet (V_{rb}) og utløp fra magasinet (V_{ut}) samt differansen (dV) beregnet for hver enkelt regnvarighet. Fra tabellen kan vi se at den største differansen oppnås ved en regnvarighet på 360 minutter. Nødvendig fordrøyningsvolum for å fordrøye en nedbørhendelse med 20 års gjentakintervall, klimafaktor på 1,40 og maksimalt påslipp på 10 l/s per ha blir dermed 134 m³.

t_r [min]	10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440	(Regnvarighet)
$P_{20\text{ år}} \cdot K_f$ [mm]	21.3	26.9	32.2	38.2	44.9	49.8	54.0	57.4	63.4	78.0	95.6	110.0	(Nedbør med 20 års gjentakintervall og klimafaktor 1,40)
$V_{inn,tak}$ [m ³]	27	38	48	60	74	84	92	99	111	140	175	204	(Avrenningsvolum fra grønt tak via den rasjonale formel)
$V_{inn,ter}$ [m ³]	63	79	95	113	133	147	159	169	187	230	282	325	(Avrenningsvolum fra terreng via den rasjonale formel)
V_{inn} [m ³]	89	117	143	173	206	231	251	268	298	370	457	529	(Totalt avrenningsvolum)
V_{rb} [m ³]	82	84	87	92	100	107	123	138	146	146	146	146	(Kapasitet i regnbed)
V_{ut} [m ³]	3	4	5	8	11	15	23	30	45	91	181	363	(Utløp til kommunalt avløpsledning)
dV [m ³]	5	29	52	74	96	108	106	100	107	134	130	20	(Differanse mellom volum inn og ut)

Steg 9: Beregne volum og maks vanndybde for kontrollert oversvømmelsesareal

Med et areal på 600 m² vil oversvømmelsesarealet ha en vanndybde på 22 cm ved 20 års nedbør med klimafaktor 1,40 for å fordrøye 134 m³. Oversvømmelsesarealet vil ikke tre i kraft før enten regnbedet eller det grønne taket er fullt.

Steg 10: Angi hvor stor andel av flatene som håndteres i trinn 1

Avrenning fra terreng (4 000 m²) føres til regnbed dimensjonert for nedbørmengder 5 års nedbør. Det antas videre at det grønne ekstensive taket (2 000 m²) håndterer nedbørmengder i trinn 1.

Summen av arealene som ikke genererer avrenning ved trinn 1 er da 6 000 m².

Andelen av flatene som håndterer trinn 1 er da 100 %.