

Forslag til formelverk og sjablongverdier for å anslå areal til naturbaserte overvannstiltak

Av Kim Haukeland Paus

Kim H. Paus er dr.ing. innen vann og avløp og rådgiver i Asplan Viak AS.

Summary

Proposal for formula works and standard values to estimate the area of nature-based stormwater solutions. In order to meet the challenges concerning urban stormwater it is recommended to establish nature-based solutions. Since nature-based solutions will manage stormwater above ground it is essential that the necessary areas and suitable locations are considered in an early phase of the development. In this paper a simplified formula is derived which can be used to estimate the area of stormwater solutions when developing plans. The formula calculations and literature are used to determine standard values to aid identification of solutions for the areas in question. Additionally, a methodology has been established proposing how placement and combinations of solutions can be assessed. In general it is recommended that stormwater assessments are carried out in an interdisciplinary collaboration including area planners, landscape architects, hydrologists, hydrogeologists, water engineers and wastewater engineers. Nevertheless, the purpose of the standard values and methodology is to give area planners and landscape architects the opportunity to include stormwater assessments in the planning of new areas, thus providing improved framework conditions for later design. Hence, this paper is a contribution to step 0 of the three-step strategy for stormwater management.

Sammendrag

For å imøtekomme utfordringene knyttet til overvann anbefales det å etablere naturbaserte tiltak for overvannshåndtering. Ettersom naturbaserte tiltak vil håndtere overvannet synlig på overflaten er det vesentlig at nødvendig areal og egnet plassering vurderes i en tidlig fase av områdeutviklingen. I artikkelen er det utledet et forenklet formelverk og beregnet sjablongverdier for hvilket areal som kan avsettes til overvannstiltak. Det er videre foreslått en metodikk for hvordan plassering og kombinasjoner av tiltak kan vurderes. Generelt anbefales det at overvannsvurderinger utføres i et tverrfaglig samarbeid mellom arealplan, landskap, hydrologi, hydrogeologi, vann og avløp med flere. Formålet med sjablongverdiene og metodikken er imidlertid å gi arealplanleggere, landskapsarkitekter og flere mulighet til å inkludere overvannsvurderinger i planleggingen av nye områder, og på den måten gi tilstrekkelig rammebetingelser for senere prosjektering av tiltak. I så måte er artikkelen et bidrag til trinn 0 i tre-trinnsstrategien for overvannshåndtering.

Innledning

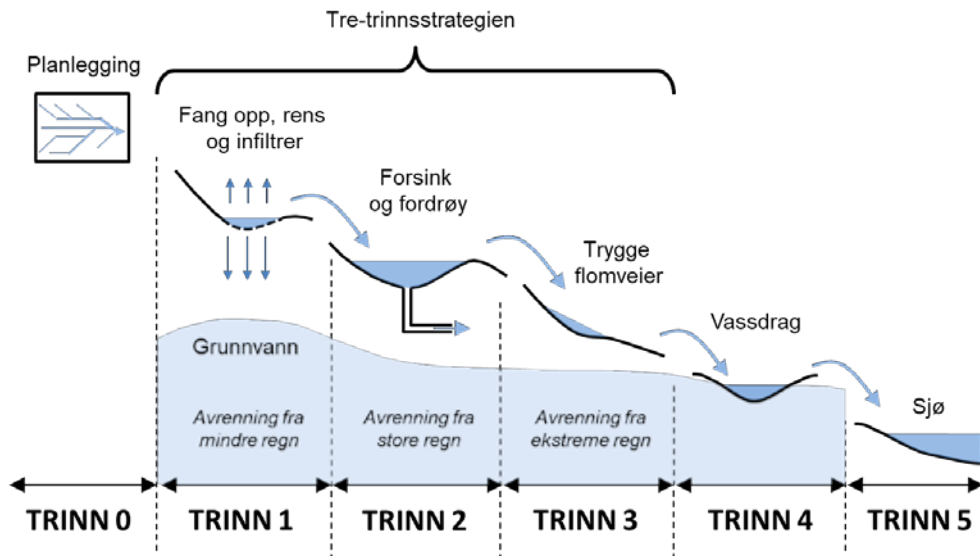
Utfordringene knyttet til overvann er mangfoldige og omfatter blant annet skader på infrastruktur og bygninger, forurensning av vassdrag, fremmedvann til avløpsrenseanlegg, senkning av grunnvannsnivå og reduksjon av minste-

vannføring i bekker. Økende fortetting, klimaendringer og et aldrende avløsanlegg er drivere som vil eskalere utfordringene i tiden fremover. For å imøtekomme utfordringene pekes det på å ta i bruk naturbaserte tiltak der overvannet håndteres synlig på overflaten (Lovdata, 2018; Klima- og miljødepartementet, 2015; Lindholm m.fl., 2008). Flere kommuner har videre inkludert krav om blågrønne, naturbaserte og/eller overflatebaserte overvannstiltak i sine kommuneplanbestemmelser (Oslo kommune, 2015; Bergen kommune 2019; Stavanger kommune 2019). Utover å fordrøye og tilbakeholde avrenning fra kraftig nedbør lokalt, vil formålene med naturbaserte tiltak kunne være å skape en mer naturlig vannbalanse, rense forurenset overvann, styrke biologisk mangfold, bidra med estetiske verdier, gjenbruke overvann og gi arealer flerbruk (Paus, 2018). Sammenliknet med nedgravde/tradisjonelle overvannsanlegg vil overflatebaserte tiltak også bidra med å synliggjøre behov for drift og vedlikehold, samt inneha en høyere fleksibilitet for de ukjente endringer i arealbehov vi måtte ha i fremtiden.

Som påpekt av Fremstad (2020) benyttes det i dag mange udefinerte, og delvis overlappende

begreper om overvannssystemer. Eksempelvis, lokal overvannsdiskonering (LOD), lokal overvannshåndtering (LOH), åpne, overflatebaserte og naturbaserte systemer. I denne artikkelen er naturbaserte overvannstiltak tolket som løsninger som utnytter vegetasjon, løsmasser og/eller forskenknninger i terrenget til å håndtere nedbør og avrenning. Ettersom slike tiltak vil håndtere overvannet synlig på overflaten er det vesentlig at arealer og plassering av tiltak vurderes i en tidlig fase av områdeutviklingen. Dette gjenspeiles av de krav kommuner setter til at arealer for overvann skal sikres i f.eks. reguleringsplaner (Bergen kommune 2019; Stavanger kommune 2019). Selv om kunnskapen knyttet til naturbaserte tiltak er økende, er det i dag et begrenset formelverk som kan benyttes for dimensjonering. Formålet med denne artikkelen er derfor å utlede et forenklet formelverk, sjablongverdier og metodikk som kan benyttes til å utføre overslagvurderinger av nødvendig tiltaksareal i en tidlig fase av områdeutviklingen.

Tiltakene som er vurdert i artikkelen omfatter grønne tak, regnbed, harde permeable overflater (f.eks. porøs asfalt) og arealer tilrettelagt for oversvømmelse. Hensikten med tiltakene vil



Figur 1: Tre-trinnsstrategien for overvannshåndtering med ytterligere trinn som representerer den nødvendige planleggingen (trinn 0) samt vassdragene (trinn 4) og sjø (trinn 5) som resipienter for overvann. Figuren er basert på Lindholm m.fl. (2008).

kunne være å rense forurenset overvann, etterlikne hydrologien før utbygging og/eller avlaste kommunalt avløpssystem eller vassdrag. På den måten begrenser innholdet i artikkelen seg til tiltak for lokal håndtering av overvann jamfør trinn 1 og 2 i tre-trinnsstrategien (Figur 1).

Utledning av formelverk

Det er utledet et formelverk som kan benyttes til å anslå hvor stort areal som kan avsettes til overvannstiltak gitt tiltakets egenskaper, nedbørfeltets karakteristikker, klimatologiske parametere og de funksjonskrav som settes til overvannssystemet. I all hovedsak er formelverket basert på en enkel vannbalanse for beregning av tiltakets kapasitet kombinert med den rasjonale formel for beregning av avrenning.

For at et tiltak skal ha tilstrekkelig kapasitet til å håndtere en bestemt nedbørhendelse er det vesentlig at avrenningsvolumet som tilføres tiltaket tilsvarer summen av tiltakets kapasitet og det som videreføres fra tiltaket i løpet av regnhendelsen. Det vil si at:

$$V_{avr} = V_{kap} + V_{vid} \quad (1)$$

Hvor V_{avr} er avrenningsvolumet generert i feltet [m^3], V_{kap} er kapasiteten til tiltaket [m^3] og V_{vid} er avrenningsvolumet som videreføres til avløpssystem, vassdrag eller på terreng [m^3].

Avrenningsvolum (V_{avr})

Ved å bruke den rasjonale formel kan avrenningsvolumet uttrykkes som:

$$V_{avr} = P \cdot \varphi \cdot A \quad (2)$$

Der P er dimensjonerende nedbørmengde [m], φ er feltets avrenningskoeffisient [-] og A er utstrekningen på feltet [m^2].

Ettersom overflaten på tiltaket vil kunne utgjøre en betydelig andel av feltet (f.eks. for grønne tak) er det hensiktsmessig å skille mellom arealet på tiltaket og arealet som fører overvann til tiltaket:

$$A = A_{tiltak} + A_{avr} \quad (3)$$

Hvor A_{tiltak} er tiltaksarealet [m^2] og A_{avr} er arealet på avrenningsfeltet som fører overvann til tiltaket [m^2].

Med to arealtyper så kan midlere avrenningskoeffisient i likning (2) uttrykkes som:

$$\varphi = \frac{\varphi_{tiltak} \cdot A_{tiltak} + \varphi_{avr} \cdot A_{avr}}{A_{tiltak} + A_{avr}} \quad (4)$$

Der φ_{tiltak} er tiltakets midlere avrenningskoeffisient [-] og φ_{avr} er avrenningsfeltets midlere avrenningskoeffisient [-].

All nedbør som treffer direkte på tiltakets overflate må håndteres og φ_{tiltak} settes derfor til 1. Ved å kombinere likning (2), (3) og (4) fås følgende uttrykk for dimensjonerende avrenningsvolum:

$$V_{avr} = P \cdot A_{tiltak} \cdot (1 - \varphi_{avr}) + P \cdot A \cdot \varphi_{avr} \quad (5)$$

Tiltakets kapasitet (V_{kap})

Ved å ta utgangspunkt i en forenklet vannbalanse kan kapasiteten til tiltaket i likning (1) uttrykkes som summen av følgende bidrag:

$$V_{kap} = V_{gm} + V_{inf} + V_{int} + V_{eva} \quad (6)$$

Der V_{gm} er volumet som håndteres i gropmagasinerer [m^3], V_{inf} er volumet som infiltreres [m^3], V_{int} er volumet som fjernes via intersepsjon (det vil si nedbør som ikke når bakken) [m^3] og V_{eva} er volumet som håndteres via evapotranspirasjon (det vil si summen av fordampning og plantenes transpirasjon) [m^3].

Volumet som håndteres i gropmagasineringen er gitt av produktet mellom tiltakets overflateareal og den midlere vannhøyden som kan lagres på overflaten av tiltaket:

$$V_{gm} = A_{tiltak} \cdot h_m \quad (7)$$

Der A_{tiltak} er tiltakets overflateareal [m^2] og h_m er midlere vannhøyde [m].

Det forutsettes at tiltaket er tilstrekkelig drenert og dermed at volumet V_{gm} i likning (7) ikke er fylt med vann ved starten av regnhendelsen. I tilfelle tiltaket har et permanent vannspeil vil h_m utgjøre vannhøyden som det er mulig å

lagre over vannspeilet uten at vann videreføres på overflaten.

Vannvolumet som kan håndteres via infiltrasjon (V_{inf}) i likning (6) er antatt begrenset av enten løsmasse-dybden eller det vannvolum som rekker å infiltrere i løpet av regnhendelsen. Eksempelvis vil infiltrasjonsbidraget i grønne tak med løsmassedybde på 5 cm kunne begrenses av mengden vann som kan samles i porevolumet i løsmassene, mens infiltrasjonsbidraget i et regnbed vil kunne begrenses av det som rekker å infiltrere ned gjennom regnbed-overflaten i løpet av regnhendelsen. For å hensynta de to begrensningene er volumet som håndteres via infiltrasjon antatt å utgjøre den minste av følgende bidrag: Det som rekker å infiltrere ila. regnhendelsen (gitt som infiltrasjonsraten multiplisert med tid) eller det effektive porevolumet til underliggende løsmasser (gitt som dybden på løsmassene multiplisert med den effektive porositeten i løsmassene). Volumet som infiltrerer kan da uttrykkes som:

$$V_{inf} = A_{tiltak} \cdot \min(K_h \cdot t_t ; d \cdot n) \quad (8)$$

Der K_h er tiltakets infiltrasjonsevne gjennom overflaten [m/min], t_t er varigheten på tilrenningen til tiltaket [min], d er dybden på underliggende løsmasser [m] og n er midlere effektiv porøsitet i løsmassene [-].

Det bemerkes at infiltrasjon er en komplisert prosess med høy romlig og stedlig variasjon og om formålet er å beregne et mer realistisk infiltrasjonsforløp så bør annet formelverk benyttes (Green og Ampt, 1911; Richards, 1931).

Videre er volumet som håndteres via evapotranspirasjon i likning (6) antatt å utgjøre produktet mellom overflaten på tiltaket, evapotranspirasjonsraten og varigheten på tilrenningen:

$$V_{eva} = A_{tiltak} \cdot E \cdot t_t \quad (9)$$

Der E er evapotranspirasjonsraten [m/min].

Volumet som håndteres via intersepsjon i likning (6) er antatt å utgjøre produktet mellom overflaten på tiltaket og nedbørmengden som vil fanges via intersepsjon:

$$V_{int} = A_{tiltak} \cdot INT \quad (10)$$

Der INT er nedbørmengden som fanges via intersepsjon [m].

Videreført vannvolum fra feltet (V_{vid})

Ved planlegging av overvannssystemer må alltid videreførte vannmengder vurderes. Jmfør tretrinnsstrategien (Figur 1) vil videreførte vannmengder omfatte både overskytende avrenning til flomveier i trinn 3 og en kontrollert vannmengde fra tiltaket til avløpssystem, vassdrag eller på terreng i trinn 2. Videreført volum i likning (1) kan ved dimensjonering for trinn 2 uttrykkes som:

$$V_{vid} = Q_m \cdot t_t \quad (11)$$

Der Q_m er midlere vannføring ut av tiltaket [m³/min]. Ved utløp til mindre vassdrag eller offentlig avløpsanlegg settes det ofte en maksimal tillatt vannføring. Imidlertid, for å uttrykke en midlere vannføring som er representativ for hele regnhendelsen så er det vanlig å multiplisere den maksimale vannføringen med en reduksjonsfaktor (Lindholm m.fl., 2012). Videre kan den maksimale tillatte vannføringen uttrykkes som en utløpsmengde normalisert for feltareal. Med dette som utgangspunkt kan likning (11) uttrykkes som:

$$V_{vid} = F \cdot q_{maks} \cdot A \cdot t_t \quad (12)$$

Der F er reduksjonsfaktoren som maksimalt utløp multipliseres med for å representere et midlere utløp [-], q_{maks} er den maksimale utløpsmengden normalisert for feltareal [m/min] og A er feltarealet [m²].

Formelverk for tiltaksareal

Ved å kombinere likning (1), (5) til (10) og (12) oppnås følgende uttrykk:

$$A_{tiltak} = A \cdot \frac{\varphi_{avr} \cdot \frac{U}{P}}{\varphi_{avr} \cdot \frac{P-H}{P}} \quad (13)$$

Der:

$$U = F \cdot q_{maks} \cdot t_t \quad (14)$$

$$P = K_f \cdot P_{t_r,GI} \quad (15)$$

$$H = h_m + \min[K_h \cdot t_t; d \cdot n] + INT + E \cdot t_t \quad (16)$$

Hvor A_{tiltak} er tiltakets overflateareal [m^2], er totalt feltareal [m^2], φ_{avr} er avrenningsarealets midlere avrenningskoeffisient [-], U uttrykker den videreførte vannmengden normalisert for feltareal [m], H uttrykker tiltakets kapasitet normalisert for tiltaksareal [m], F er reduksjonsfaktoren for utløpet [-], q_{maks} er den maksimale utløpsmengden normalisert for feltareal [m/min], t_t er tilrenningstiden for overvann til tiltaket [min], P er dimensjonerende nedbørmengde [m], K_f er klimafaktoren som benyttes for å beskrive fremtidig økning i nedbør [-], $P_{t_r,GI}$ er nedbørmengde fra lokal IVF-statistikk [m] ved gitt regnvarighet (t_r) og gjentaksintervall (GI), h_m er midlere vannhøyde som kan samles på overflaten av tiltaket [m], K_h er tiltakets infiltrasjonsevne gjennom overflaten [m/min], d er dybden på underliggende løsmasser i tiltaket [m], n er midlere effektiv porøsitet i løsmassene til tiltaket [-], INT er nedbørmengden som fanges via intersepsjon i tiltaket [m] og E er evapotranspirasjonsraten til tiltaket [m/min].

Valg av verdier ved beregning av sjablongverdier

For å muliggjøre beregning av sjablongverdier er funksjonskrav, nedbørstatistikk, feltkarakteristikk og forhold ved tiltak definert. Valg av verdier og begrunnelse er gjennomgått i det videre.

Funksjonskrav, nedbørstatistikk og feltkarakteristikk

Det er satt et funksjonskrav til overvannssystemet som tilsvarer at nedbør fra 18701 Blindern PLU (perioden 1968 til 2020) med regnvarighet på 60 minutter skal håndteres lokalt uten videreført vannmengde ila. regnhendelsen. Funksjonskravet medfører at uttrykket for U i likning (13)

settes til null og at tiltakets potensielle kapasitet utnyttes gjennom tilstrekkelig struping av tiltakets utløp. I mer detaljerte beregninger vil en normalt benytte lokal nedbørstatistikk sammen med regnvelopmetoden og en maksimal tillatt utløpsmengde for dimensjonering (Lindholm, m.fl. 2012) samt vurdere løsninger for drenering av tiltak.

Konsentrasjonstiden for feltet som genererer avrenning er antatt å være ubetydelig og tilrenningstiden (t_t) er derfor antatt å tilsvare regnvarigheten på 60 minutter. Videre er det antatt at avrenningsfeltet består av 100 % tette flater. Ved å sette φ_{avr} i likning (13) til 1,00 samt dividere likningen på feltareal (A) fås følgende uttrykk for hvor stor andel tiltaksarealet må utgjøre av feltarealet:

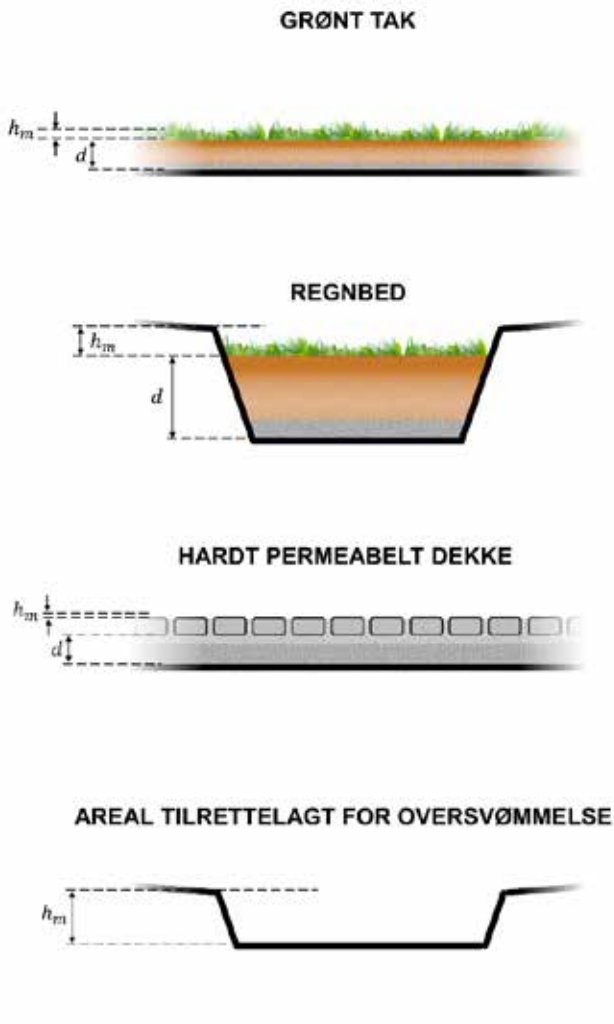
$$f = \frac{P}{H} \quad (17)$$

Der er andelen av det totale feltarealet som må avsettes til tiltak [%].

Tiltak og parametere

Det er beregnet sjablongverdier for fire tiltakstyper med varierende forutsetninger som illustrert i Figur 2. For mer detaljer om de enkelte tiltakene henvises det til Oslo kommunes faktaark-samling for blågrønne overvannsløsninger (Oslo kommune, 2016).

Verdiene for de parametere som påvirker tiltakets kapasitet i likning (16) er basert på litteratur og oppsummert i Tabell 1. Gropmagasineringen (h_m) er variert fra 100 til 300 mm for regnbed og arealer tilrettelagt for oversvømmelse. Løsmassedybden (d) er variert fra 50 til 250 mm for grønne tak og satt til 350 og 750 mm for henholdsvis hardt permeabelt dekke og regnbed. Den effektive porøsiteten for tiltak med løsmasser er satt til 0,35. Både fordampning ila. 60 minutter og det som fanges opp via intersepsjon antas å utgjøre svært små bidrag sammenliknet med gropmagasinering og infiltrasjon. Evapotranspirasjon og intersepsjon er derfor neglisjert i beregningene.



Figur 2: Prinsipper for tiltakstyper det er beregnet sjablongverdier for, og angir gropmagasineringen og dybden på underliggende løsmasser. Nødvendig utløp og drenering er ikke vist.

Resultater

Betraktninger knyttet til forenklet formelverk

Likning (13) åpner for enkelte betraktninger knyttet til tiltaksstørrelse, dimensjonerende nedbør og funksjonskrav. Først så vil det ikke være behov for tiltak når avrenningsfeltets midlere avrenningskoeffisient (φ_{avr}) er mindre eller likt forholdet mellom dimensjonerende nedbør (P) og den videreførte vannmengden normalisert

for feltareal (U). For eksempel, ved $P = 56$ mm (nedbørstatistikk fra Blindern med $t_r = 180$ min, $GI = 20$ år og $K_f = 1,40$) og $U = 8$ mm ($F = 0,7$, $q_{maks} = 10$ l/(s·ha) og $t_t = 180$ min) så vil behovet for tiltak først falle vekk når $\varphi_{avr} \leq 0,14$. Videre tilsier likning (13) at når summen av tiltakets kapasitet normalisert for tiltaksareal (H) og U er mindre enn P , så vil tiltaksarealet bli større enn feltarealet. Tolkningen av dette er at tiltaket ikke har kapasitet til å håndtere dimen-

Tabell 1: Verdier for de parametere som er benyttet til å beregne tiltakets kapasitet og sjablongverdier. Verdier i parentes for tiltakene angir dybden på løsmasser (grønne tak), maksimal vannndybde (regnbred og areal til oversvømmelse) og infiltrasjonsevne (hardt permeabelt dekke).

Tiltak	h_m	K_h	d	n	H^c
	[mm]	[cm/t]	[mm]	[-]	[mm]
Grønt tak (5 cm dybde)	8	100	50	0.35	26
Grønt tak (15 cm dybde)	8	100	150	0.35	61
Grønt tak (25 cm dybde)	8	100	250	0.35	96
Regnbred (10 cm)	100	20 ^{a)}	750	0.35	300
Regnbred (20 cm)	200	20 ^{a)}	750	0.35	400
Regnbred (30 cm)	300	20 ^{a)}	750	0.35	500
Hardt permeabelt dekke (1 cm/t)	5	1 ^{b)}	350	0.35	15
Hardt permeabelt dekke (11 cm/t)	5	11 ^{b)}	350	0.35	115
Hardt permeabelt dekke (42 cm/t)	5	42 ^{b)}	350	0.35	128
Areal til oversvømmelse (10 cm)	100	0	0	0	100
Areal til oversvømmelse (20 cm)	200	0	0	0	200
Areal til oversvømmelse (30 cm)	300	0	0	0	300

a) Lunde (2020), b) min, midlere og maks verdier rapportert av Al-Rubaei m.fl. (2013), c) Antatt tilrenningstid på 60 minutter.

sjonerende nedbør og at det må etableres ytterligere tiltak om funksjonskravet skal ivaretas. Endelig så er likning (13) kun gyldig så lenge $\varphi_{avr} > (P-H)/P$. Det vil si at tiltakets tilsvarende avrenningskoeffisient (for den nedbøren som faller direkte på tiltaksarealet) må være lavere enn avrenningsfeltets avrenningskoeffisient. Eksempelvis kan det vises at med $\varphi_{avr} = 0,50$, så må tiltakets H -verdi være minst halvparten av dimensjonerende nedbør for at likning (13) skal være gyldig.

Sjablongverdier

Tabell 2 oppsummerer beregnede sjablongverdier (f) for hvor stor andel av feltarealet som må avsettes til tiltak for varierende funksjonskrav. Funksjonskrav ved trinn 1 er uttrykt som andelen av årsnedbøren som skal håndteres (Paus, 2018) mens funksjonskrav ved trinn 2 er uttrykt av et dimensjonerende gjentakintervall for

nedbør med klimafaktor. Fra Tabell 2 kan man eksempelvis lese at et regnbred, nedsenket 20 cm i forhold til omkringliggende terreng, har en f -verdi på 10 % gitt at fremtidens 10 års regn skal håndteres. Regnbredet må altså utgjøre 10 % av feltets areal for å håndtere dimensjonerende nedbørmengde lokalt. Videre betyr en f -verdi på over 100 % at tiltaket ikke har kapasitet til å håndtere nedbøren som faller direkte, og at det må etableres ytterligere tiltak for å håndtere dimensjonerende nedbør.

Forutsetninger ved bruk av sjablongverdiene er at tiltaket plasseres ved feltets utløp slik at avrenning fra hele feltet føres til tiltaket. For tiltak som ikke vil motta avrenning fra tiliggende arealer (f.eks. grønne tak) må f -verdier settes til minimum 100 %. I tillegg forutsettes det at feltet er 100 % tett, noe som bidrar til å overestimere nødvendig tiltaksareal for felt som er permeable og/eller der dimensjonerende nedbørmengde er

Tabell 2: Sjablongverdier for nødvendig tiltaksareal som andel av feltareal () forutsatt 100 % tett nedbørfelt. Dimensjonerende nedbør har varighet på 60 minutter og er basert på Paus (2018) samt statistikk fra 18701 Blindern PLU perioden 1968 – 2020. Verdier i parentes for tiltakene angir dybden på løsmasser (grønne tak), maksimal vanndybde (regnbed og areal til oversvømmelse) og infiltrasjonsevne (hardt permeabelt dekke).

Trinn i tre-trinnsstrategien	Trinn 1			Trinn 2					
	90 %	95 %	99 %	2 år	5 år	10 år	20 år	50 år	200 år
Funksjonskrav	90 %	95 %	99 %	2 år	5 år	10 år	20 år	50 år	200 år
Klimafaktor	1,00	1,00	1,00	1,40	1,40	1,40	1,40	1,50	1,50
Dimensjonerende nedbør [mm]	3,4	5,5	16,1	24,7	35,1	41,9	48,5	61,1	74,8
Grønt tak (5 cm dybde)	13 %	22 %	63 %	97 %	138 %	164 %	190 %	240 %	293 %
Grønt tak (15 cm dybde)	6 %	9 %	27 %	41 %	58 %	69 %	80 %	101 %	124 %
Grønt tak (25 cm dybde)	4 %	6 %	17 %	26 %	37 %	44 %	51 %	64 %	78 %
Regnbed (10 cm)	1 %	2 %	5 %	8 %	12 %	14 %	16 %	20 %	25 %
Regnbed (20 cm)	1 %	1 %	4 %	6 %	9 %	10 %	12 %	15 %	19 %
Regnbed (30 cm)	1 %	1 %	3 %	5 %	7 %	8 %	10 %	12 %	15 %
Hardt permeabelt dekke (1 cm/t)	23 %	37 %	107 %	165 %	234 %	279 %	323 %	407 %	499 %
Hardt permeabelt dekke (11 cm/t)	3 %	5 %	14 %	21 %	31 %	36 %	42 %	53 %	65 %
Hardt permeabelt dekke (42 cm/t)	3 %	4 %	13 %	19 %	28 %	33 %	38 %	48 %	59 %
Areal til oversvømmelse (10 cm)	3 %	6 %	16 %	25 %	35 %	42 %	49 %	61 %	75 %
Areal til oversvømmelse (20 cm)	2 %	3 %	8 %	12 %	18 %	21 %	24 %	31 %	37 %
Areal til oversvømmelse (30 cm)	1 %	2 %	5 %	8 %	12 %	14 %	16 %	20 %	25 %

lav. Likning (13) kan benyttes for å beregne tiltaksareal når feltet ikke er tett. Eksempelvis, om avrenningskoeffisienten er 0,50 (tilsvarer flate områder med tett bebyggelse og noe vegetasjon jamfør Lindholm m.fl., 2012) kan det beregnes at et regnbed (nedsenket med 20 cm) må utgjøre 6 % av arealet hvis fremtidens 10 års regn (41,9 mm) skal håndteres.

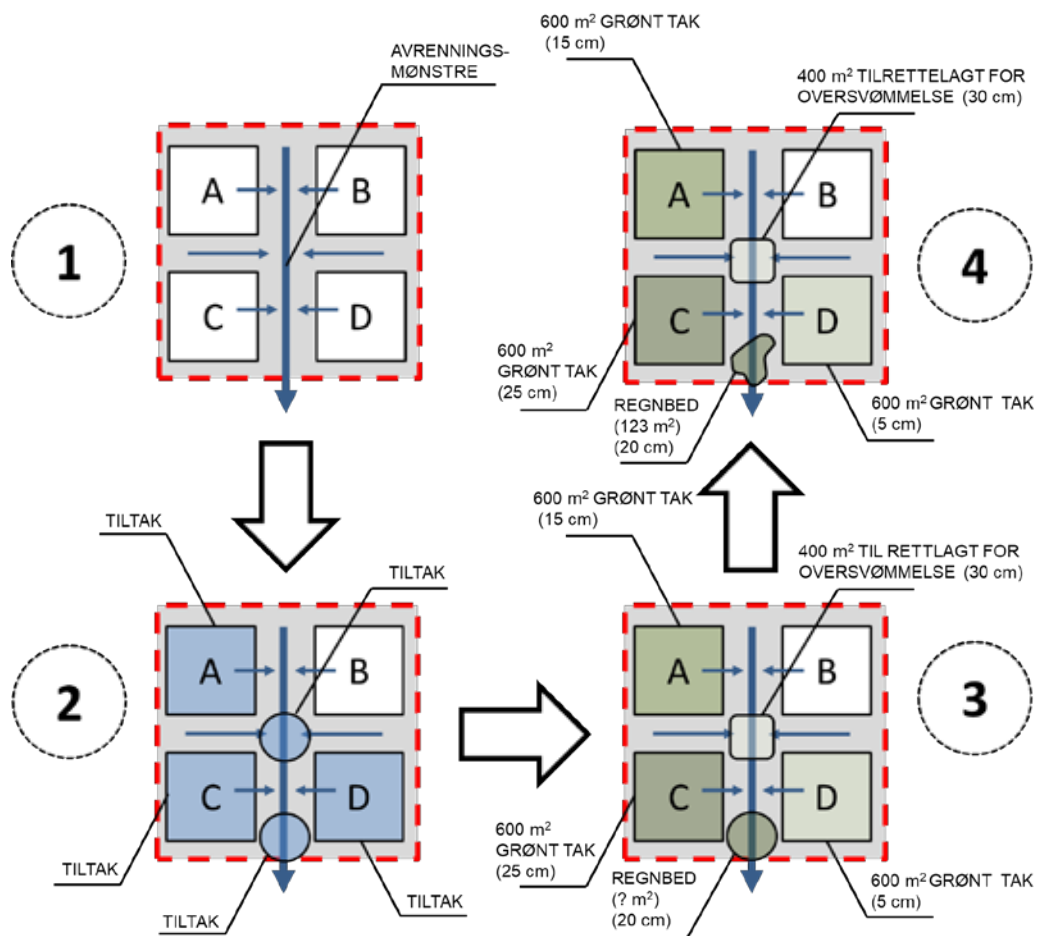
Eksempel på metodikk for vurdering av plassering og tiltaks-kombinasjoner

I de aller fleste tilfeller vil overvannsystemet i et planområde bestå av flere tiltak og det er derfor ofte nødvendig å vurdere den samlede effekten av alle tiltak. I det videre er det gjennomgått et eksempel på metodikk for hvordan man kan vurdere type tiltak, plassering og nødvendig tiltaksareal i plan. Figur 3 illustrerer et tenkt planområde som skal utvikles med høy utnyttelsesgrad (100 % tett). Planområdet har en utstrekning på totalt 5000 m² og omfatter fire bygg, hver med et takareal på 600 m². Funksjonskravet

for området er at overvann som generes ved fremtidens 20 års nedbør skal håndteres lokalt.

Som illustrert i steg 1 i Figur 3 vil en overvannsvurdering kunne starte med å vurdere fremtidige avrenningsmønstre og lavpunkt på overflaten. Det vil kreve at en tar stilling til fremtidens terrengkoter samt plassering av taknedløp og hvor disse vil ha utkast. Vurderingen av avrenningsmønstre og lavpunkt kan enten utføres manuelt eller ved hjelp av terrengeanalyser i egnet programvare. Historiske avrenningsmønstre bør normalt legges til grunn gitt at disse er akseptable. Videre er det hensiktsmessig å kartlegge om avrenning fra tilstøtende områder føres inn i planområdet samt hvor mange utløp planområdet har. I eksempelet i Figur 3 er det ingen tilløp fra naboarealer og kun ett utløp. Ved flere utløp så må planområdet deles inn i delfelt der den videre vurderingen (steg 2, 3, og 4) utføres for hvert delfelt.

I steg 2 velges så mulige plasseringer av tiltak i planområdet. Effekten av tiltak plassert på



Figur 3: Eksempel på prosedyre for vurdering av overvann i tidlig fase for et gitt planområde.

bakkenivå vil generelt øke med størrelsen på tiltakets avrenningsareal, og det er derfor hensiktsmessig å plassere tiltak ved de antatt største vannveiene. For å sikre at kravet til lokal overvannshåndtering ivaretas for hele planområdet må det i prinsippet alltid være plassert et tiltak ved feltutløpet.

I steg 3 vurderes så type tiltak og størrelser. Ofte vil annen arealbruk på bakkenivå og tak begrense tiltaksstørrelser. I eksempelet er det antatt mulig å etablere grønne tak med henholdsvis løsmassedybder på 5, 15 og 25 cm og et areal på 400 m² som kan tilrettelegges for kontrollert oversvømmelse med vannstand opptil 30 cm. Endelig er det plassert et regnbed ved utløpet som må være tilstrekkelig stort for å

fange opp avrenningen fra feltet som ikke andre tiltak håndterer. For å anslå arealet på regnbedet kan det være hensiktsmessig å først beregne feltarealet som håndteres av øvrige tiltak. En slik beregning er vist i Tabell 4. Merk at håndtert feltareal for hvert tiltak utgjør den minste verdien av det feltarealet tiltaket har kapasitet til å håndtere, og det faktiske feltareal som fører avrenning til tiltaket.

Beregningseksempelet i Tabell 4 viser at de grønne takene og arealet tilrettelagt for oversvømmelse til sammen håndterer et feltareal på 3990 m². Det resterende feltarealet som må håndteres av regnbedet blir da 5000 m² – 3990 m² = 1010 m². Ved å bruke f -verdien for regnbed (20 cm) i Tabell 4 kan det beregnes at regnbed-

Tabell 4: Beregning av håndtert feltareal for hvert tiltak som utgangspunkt for å bestemme nødvendig areal på regnbed.

Tiltak	f-verdi for dimensjonerende nedbør (Tabell 2)	Tiltaksareal (A_{tiltak})	Potensielt feltareal ($A = A_{\text{tiltak}} / f$)	Faktisk feltareal	Håndtert feltareal
Grønt tak (15 cm) på bygg A	80 %	600 m ²	748 m ²	600 m ²	600 m ²
Grønt tak (25 cm) på bygg C	51 %	600 m ²	1181 m ²	600 m ²	600 m ²
Grønt tak (5 cm) på bygg D	190 %	600 m ²	315 m ²	600 m ²	315 m ²
Areal til oversvømmelse (30 cm)	16 %	400 m ²	2474 m ²	> 2474 m ²	2474 m ²
Sum håndtert feltareal					3990 m²

arealet, som siste tiltak, må være $1010 \text{ m}^2 \cdot 12 \% = 123 \text{ m}^2$. I Figur 3 steg 4 er den endelige planen illustrert med avrenningsmønstre, plassering og type tiltak samt arealer.

Bruk, begrensninger og videre arbeider

Det bemerkes at sjablongverdiene og metodikken i eksemplet kun gir et overslag på tiltaksareal og at resultatene ikke vil kunne erstatte de vurderinger og beregninger som utføres av vann- og avløpsingeniører. Samtidig er formålet med gjennomgangen å gi arealplanleggere og landskapsarkitekter mulighet til å inkludere forenklede overvannsvurderinger i en tidlig fase av områdeutviklingen, og på den måten gi tilstrekkelig rammebetingelser for senere prosjektering av tiltak. Generelt anbefales det at vurderinger av overvann utføres i et tverrfaglig samarbeid mellom plan, landskap, geoteknikk, vann og avløp med flere.

Den presenterte metodikken er ikke komplett og det er flere forhold som ikke er omtalt her, men som vil kunne være premissgivende for valg av type tiltak og derfor er relevante å vurdere i en tidlig fase av områdeutviklingen. Slike forhold omfatter blant annet løsninger for drenering av tiltak, lokale grunnforhold (f.eks. infiltrasjonsevne, grunnvann, forurensede masser etc.), flomveier utenfor og internt i planområdet (trinn 3 i tre-trinnsstrategien), vurdering av overvannskvalitet, krav til blågrønn faktor og lokal kunnskap om faktiske nedbørhendelser og

erfarte skader. I tillegg omfatter ikke metoden kombinasjoner av tradisjonelle og naturbaserte overvannstiltak. I tilfelle det er hensiktsmessig å etablere tradisjonelle fordryningstiltak (f.eks. underjordiske rør-magasiner) for å ivareta funksjonskrav, anbefales det likevel å dimensjonere et naturbasert overvannssystem for avrenning tilknyttet trinn 1 i tre-trinnsstrategien. Dette vil bidra til å redusere både volumet til det tradisjonelle systemet og behov for drift og vedlikehold. I tillegg vil en kunne oppnå fordelene tilknyttet med trinn 1 (Paus, 2018).

Generelt er det mange utviklingsbehov i overvannsfaget hvis flere av dem nylig er pekt på i et forprosjekt av Norsk Vann (Paus, 2020). Jamfør sjablongverdiene i Tabell 2 er det blant annet svært relevant å vurdere hvilket funksjonskrav som er hensiktsmessig å sette til lokal håndtering av overvann. Hvis overvannet skal håndteres på overflaten via naturbaserte tiltak vil dette kunne beslaglegge store andeler av planområdet som må forutsette en flerbruk av arealer. Investeringen knyttet til etablering, drift og vedlikehold av tiltakene bør imidlertid også gjenspeile reduksjon i skadepostnader som forventes ved etablering av tiltakene samt tiltakets øvrige fordeler (f.eks. mindre fremmedvann til avløpsrensaneanlegg, biologisk mangfold, gjenbruk av vann, estetikk etc.). I dag vurderes sjeldent risikoakseptnivå for overvannsskader lokalt og funksjonskravet til lokal overvannshåndtering (f.eks. fremtidens 10 eller 20 års

nedbør) kan oppfattes som krav som gjelder alle nye utbyggingsområder. Lønnsomheten for samfunnet ved å ikke differensiere funksjonskravene er imidlertid diskutabel. Eksempelvis antyder Bjørnsen (2020) at et gjentakintervall lavere enn 20 år vil kunne gi størst lønnsomhet på lang sikt, gitt at det samme funksjonskravet settes til alle utbyggingsområder.

Oppsummering

Som en oppsummering av artikkelen er det foreslått en kortfattet fremgangsmåte for hvordan overvannsvurderinger kan utføres i en tidlig fase av områdeutvikling:

1. Vurder avrenningsmønstre og lavpunkter på overflaten for det planlagte terrenget, plassering av utkast av takvann samt grunnforhold.
2. Kartlegg om planområdet vil kunne motta avrenning fra arealer utenfor planområdet. Vurder evt. mengder samt løsning for hvordan dette skal håndteres (f.eks. fordroyning, etablere flomvei gjennom planområdet eller avskjære oppstrøms). For mindre utbygginger settes det normalt ikke krav til fordroyning av avrenning fra tilstøtende arealer, mens dette vil være naturlig å vurdere ved utvikling av større områder.
3. Kartlegg hvor mange utløp planområdet vil ha og type utløp (f.eks. påslipp til offentlig avløpssystem, utløp på terreng eller vassdrag). Hvert utløp definerer et delfelt i planområdet og punkt 4 til 8 utføres for hvert delfelt.
4. Vurder funksjonskrav til lokal overvannshåndtering (videreført vannmengde, gjentakintervall og klimafaktor). Differensier evt. mellom dimensjoneringskrav for henholdsvis naturbasert system og hele systemet (naturbasert og tradisjonelt).
5. Vurder mulige plasseringer av tiltak for overvann på tak og bakkenivå. Tiltak plassert ved større vannveier og/eller lavpunkt vil ha størst effekt. Om alt overvann skal håndteres lokalt må det plasseres tiltak ved utløpet fra planområdet.
6. Ta stilling til type og utforming av tiltak og vurder hvilket areal og dybde som kan avsettes. For å sikre at overvannet håndteres lokalt er det hensiktsmessig å definere et tiltak som håndterer overvann fra store deler av planområdet (f.eks. tiltak ved utløpet). Arealet på tiltaket vurderes i punkt 7.
7. Benytt sjablongverdiene sammen med metodikken i kap. 4.2 til å beregne hvor stor del av planområdet (feltareal) de ulike tiltakene håndterer. Beregn så nødvendig areal for tiltaket som håndterer overvann fra store deler av planområdet. Om arealet blir for stort så gjenta evt. punkt 4, 5 og 6.
8. Vurder alltid hva som kan skje når det kommer mer regn enn det som skal håndteres lokalt. Etabler flomveier på overflaten for å redusere potensielle skader (trinn 3 i tre-trinnsstrategien).

Takk

Arbeidet som er presentert i denne artikkelen er en del av FoU-prosjektet *Urbane regnbed* som gjennomføres i regi av Asplan Viak. En stor takk til Bent C. Braskerud og Ursula Zühlke (Oslo kommune) for kommentarer og innspill til manuskriptet.

Referanser

Al-Rubaei, A.M., Stenglein, A.L., Viklander, M. og Blecken, G. (2013). *Long-Term Hydraulic Performance of Porous Asphalt Pavements in Northern Sweden*. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 139 (6) s. 499-505.

Bergen kommune (2019). *Kommuneplanens arealdel - bestemmelser og retningslinjer*. Vedtatt av Bergen bystyre 19.6.2019

Bjørnsen, S.L. (2020). *Optimal tiltaksstørrelse for lokal overvannshåndtering - Samfunnsøkonomisk vurdering av case-område på Nadderud, Bærum*. Masteroppgave ved NMBU

Fremstad, M.Ø. (2020). *Bærekraftig overvannshåndtering - begrepsforståelse og utvikling av indikatorer*. Masteroppgave ved NMBU. Tilgjengelig på: <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmloi/handle/11250/2673405>

Green, W. H. og Ampt, G. (1911). *Studies on Soil Physics*. *The Journal of Agricultural Science*, 4 (1): 1-24.

Klima- og miljødepartementet (2015). *Overvann i byer og tettsteder*. NOU (Norges offentlige utredninger) 2015: 16

Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægvog, S., Jakobsen, G. og Aaby, I. (2008). *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering*. Norsk Vann rapport. Rapportnummer 168 | 2008.

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

Lovdata (2018). *Statlige planretningslinjer for klima- og energiplanlegging og klimatilpassning*. Kommunal- og moderniseringsdepartementet.

Lunde, E.W. (2020). *Infiltrasjon i regnbed og val av verdi for metta hydraulisk konduktivitet ved dimensjonering*. Masteroppgave ved NMBU.

Oslo kommune (2015). *Kommuneplan 2015 - Oslo mot 2030. Del 2. Juridisk arealdel*. Vedtatt av Oslos bystyre 23.09.2015

Oslo kommune (2016). *Faktaark om overvannsløsninger*. Tilgjengelig på: www.oslo.kommune.no/overvann

Paus, K.H. (2018). *Forslag til dimensjonerende verdier for trinn 1 i Norsk Vann sin tre-trinns strategi for håndtering av overvann*. Vann 01 | 2018 s. 66-77.

Paus, K.H. (2020). *Kunnskapsbehov innen overvann og klimatilpassning*. Norsk Vann forprosjekt. Rapportnummer B26 – 2020.

Richards, L. A. (1931). *Capillary conduction of liquids through porous mediums*. Physics, 1 (5): 318-333.

Stavanger kommune (2019). *Kommuneplan for Stavanger 2019 - 2034. Bestemmelser og retningslinjer*. Vedtatt av bystyret 9. desember 2019.