

Forslag til dimensjonerende verdier for trinn 1 i Norsk Vann sin tre-trinns strategi for håndtering av overvann

Av Kim H. Paus

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

Summary

Suggestion for design values for step 1 of the Norwegian Water's three-step strategy for stormwater management. The Norwegian Water Association recommends using the three-step strategy when managing stormwater. This paper aims to clarify features and possibilities of measures in step 1, and specifically suggest limits as to what can be used in the design process. While the main function of steps 2 and 3 are damage limitation, the functions of step 1 could include ensuring a natural water balance through infiltration, evaporation, and retention in vegetation, treatment, reduce infiltration water conveyed to the wastewater treatment plant, increase esthetics or ecological values and / or reuse of rainwater. Suggested design criteria for step 1 are based on the proportion of the annual precipitation to be captured. Hydrological data with minute resolution is analyzed from six stations. The results provide correlations between design rainfall, rainfall duration and proportion of the annual rainfall to be captured.

Sammendrag

Norsk Vann anbefaler å legge tre-trinns strategien til grunn ved håndtering av overvann. Denne artikkelen har som formål å tydeliggjøre funksjoner og muligheter ved tiltak i trinn 1 og spesifikt foreslå grenser som kan benyttes ved

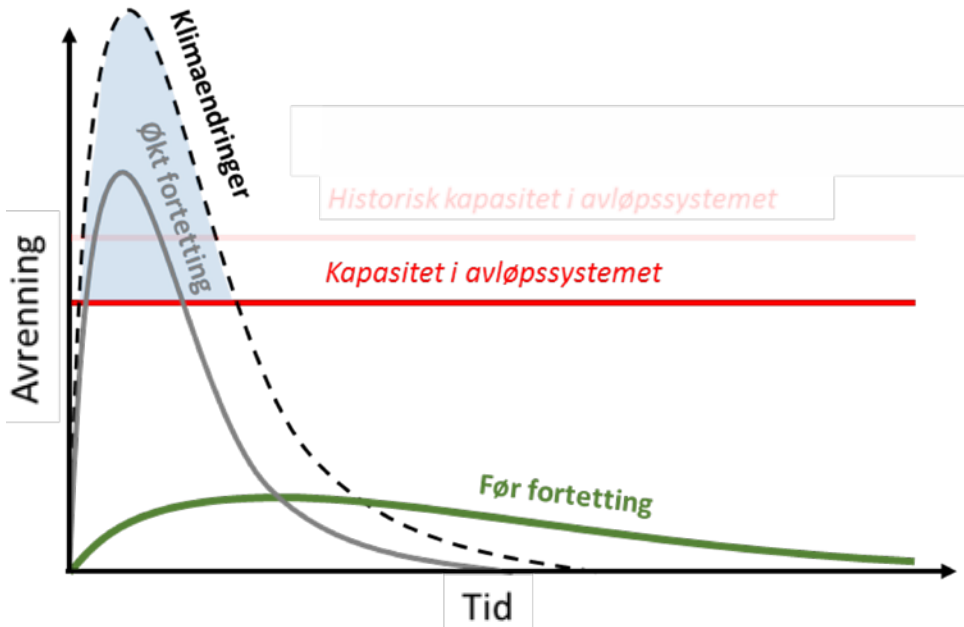
dimensjonering. Mens hovedfunksjonen til trinn 2 og 3 er skadebegrensning, vil funksjonene til trinn 1 kunne inkludere å sikre en naturlig vannbalanse gjennom infiltrasjon, fordampning og opptak av vann i vegetasjon, rense forurenset overvann, redusere mengden uønsket vann tilført avløpsrenseanlegget, utnytte vannets estetiske eller økologiske potensial og/eller gjenbruke overvann. Det er foreslått dimensjoneringskriterier for trinn 1 basert på andel av årsnedbøren som skal fanges opp. Data med høy tidsoppløsning er analysert fra seks nedbørstasjoner. Resultatene gir sammenhenger mellom dimensjonerende nedbørmengde, regnvarighet og andel av årsnedbøren som fanges opp.

1. Innledning

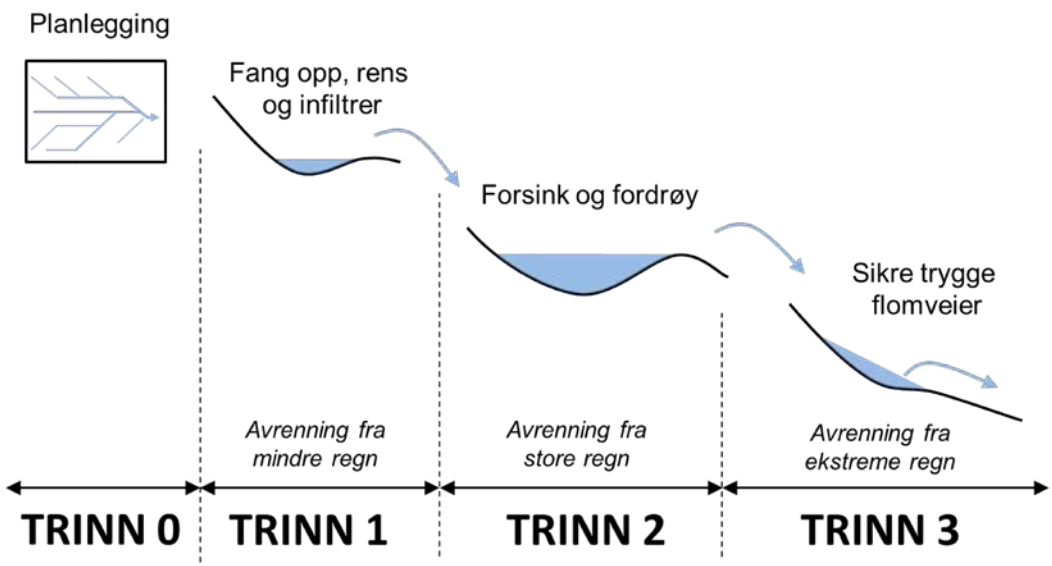
Overvann er vann som renner av på overflaten av tak, veier og andre flater etter nedbør eller snøsmelting. Det er i dag utfordringer knyttet til håndtering av overvann i norske byer og tettsteder. Som illustrert i Figur 1 bidrar klimaendringer, fortetting og forringelse av eksisterende avløpsanlegg til økt forekomst av hendelser der overvann fører til skader på bygg og infrastruktur. I tillegg er avløpsanlegget utformet slik at store mengder overvann føres til avløpsrenseanlegg via felles avløpssystem, utette ledningsanlegg og feilkoblinger. Studier viser at over

halvparten av vannet som kommer inn til norske avløpsrenseanlegg er uønsket (Lindholm og Bjerkholt, 2011). Felles avløpssystemer vil også forårsake at urensert spillvann føres ut til vassdrag via overløp ved kraftig nedbør.

I tillegg til overnevnte utfordringer, vil tette flater i kombinasjon med tradisjonelle lukkede avløpssystemer (bestående av sluk og rør) hindre at nedbør absorberes i vegetasjon, fordampes og/eller infiltreres i grunnen. Lukkede avløps-



Figur 1: Avløpssystemet er utformet for å håndtere en vannmengde for et historisk klima og fortetningsgrad. I en fremtidig situasjon uten noen form for tiltak vil økt fortetting, et aldrende avløpssystem og forventede klimaendringer øke avrenningens volum og flomtopp. Dette resulterer i økt hyppighet av hendelser hvor vannet bidrar til oversvømmelse, flommer og skader.



Figur 2: Tretrinnsstrategi for håndtering av overvann. Figuren er basert på Lindholm m.fl. (2008).

systemer vil på den måten kunne endre den naturlige vannbalansen. Avrenning fra trafikk-arealer og sentrumsområder vil også kunne inneholde forurensning som i begrenset grad vil bli tilbakeholdt i tradisjonelle lukkede avløps-systemer.

For å oppnå en mer klimatilpasset og bærekraftig håndtering av overvann, anbefaler Norsk Vann at håndteringen av overvann gjøres i tråd med tre-trinns strategien, også omtalt som tre-leddsstrategien (Lindholm m.fl., 2008). I tråd med strategien skal avrenning fra mindre regnhendelser fanges opp og infiltreres i trinn 1, avrenning fra store regnhendelser skal fordrøyes før påslipp til avløpsanlegg eller utslipp til vassdrag i trinn 2 og avrenning fra ekstreme regnhendelser skal sikres trygg avledning på overflaten via flomveier i trinn 3. Sammenliknet med den opprinnelige strategien er det i Figur 2 lagt til et trinn 0 som omfatter planleggingen som er nødvendig for å gjennomføre de etterfølgende trinnene. Erfaring viser at det ofte er utfordrende å håndtere overvann etter intensjonene i tre-trinns strategien hvis ikke forutsetningene for dette er nedfelt i en tidlig fase.

Mens det i dag finnes retningslinjer for valg av dimensjonerende nedbørmengde og beregningsmetodikk for fordrøyning (trinn 2) og

flomveier (trinn 3), finnes det ingen tilsvarende anbefalinger ved håndtering av nedbørmengder i trinn 1. Formålet med denne artikkelen er å belyse de funksjoner vi kan tillegge trinn 1 for å imøtekomme utfordringer knyttet til overvann, og videre foreslå dimensjoneringskriterier.

2. Forslag til funksjoner og grenser i tre-trinns strategien

Det er i Tabell 1 oppsummert mulige utfordringer knyttet til overvann og en tolkning av prinsipielle løsninger og kategorisering etter tre-trinns strategien. Tiltak i trinn 2 og 3 har klare funksjoner i form av avlastning av avløpsanlegg eller vassdrag, samt sikre at vann ikke kommer på veie. I dag er gjeldende praksis at trinn 2 og 3 dimensjoneres for bestemte gjentakintervall, typisk 20 til 200 år. I tillegg benyttes det klimafaktorer som multipliseres med historiske nedbørverdier for å ivareta forventet økning i nedbørmengder som følge av klimaendringer. Mens hovedfunksjonen til trinn 2 og 3 er skadebegrensning ved kraftig regn, er funksjonene til tiltak i trinn 1 mer mangfoldig. Nedbørmengdene i trinn 1 forstås her som regn av dagligdags karakter. Funksjonene kan omfatte å sikre en naturlig vannbalanse gjennom infiltrasjon, fordampning og/eller vannopptak i vegetasjon,

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

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 avløpsanlegg 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 skape verdifulle økosystemer	X		
Skader som følge av overbelastet avløpsystem	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 avløpsystem	Avlaste avløpsanlegg gjennom fordrøyning av store regn		X	
Skader som følge av mangel på planlagte flomveier	Sikre trygge flomveier			X

rense forurenset overvann, redusere mengden uønsket vann tilført avløpsrenseanlegget over året, utnytte vannets estiske eller økologiske potensial og gjenbruke overvann. Eksempler på tiltak som ivaretar en eller flere av funksjonene i trinn 1 omfatter regnbed, grønne tak, regntøner og sisterner, permanente vannspeil, vegeterte arealer og rensetiltak for overvann.

Både i tekniske forskrifter og bestemmelser i kommuneplaner forekommer det krav knyttet til det som her tolkes som trinn 1. I Byggeteknisk forskrift § 15-8 første ledd fremkommer det at overvann i størst mulig grad skal infiltreres, eller på annen måte håndteres lokalt for å sikre vannbalansen i området (Direktoratet for Byggekvalitet, 2017). I bestemmelser i kommuneplaner finnes det i tillegg krav om at overvann skal håndteres åpent, infiltreres, tilbakeføres grunnen og vegetasjon, fremme biologisk mangfold og inngå som et bruks- og trivselselement (Asker kommune 2017, Lørenskog kommune 2015, Oslo kommune 2015, Trondheim kommune 2014). Ettersom det ikke er tydelig hvilke nedbørmengder kravene gjelder for, er det i praksis utfordrende å dokumentere at intensjonene i lovverk og bestemmelser ivaretas. I områder med utbyggingspress er det også en tendens til at mangel på tydelige og dokumenterbare krav bidrar til at overvannshåndteringen blir planlagt for sent i byggeprosessen. I mange tilfeller ender dette med fordyrende løsninger og/eller lukkede avløpssystemer bestående av sluk, rør og underjordiske fordrøyningsmagasiner, som i prinsippet kun ivaretar funksjonen til trinn 2.

I Lindholm m.fl. (2008) er det gitt eksempler på grenser mellom trinnene (< 20 mm for trinn 1, < 40 mm for trinn 2 og > 40 mm for trinn 3) men dette er verdier som må tilpasses lokalt. Å ha faste nedbørverdier uten angivelse av nedbørens varighet, vil imidlertid ikke gi en tilstrekkelig tolkning. Eksempelvis, en regnhendelse på 20 mm vil karakteriseres som normalt hvis regnvarigheten er et døgn, og ekstremt hvis regnvarigheten er 20 minutter. I en noenlunde tilsvarende tre-trinns strategi benyttet i Australia (Government of Western Australia, 2011) er

grensene mellom trinnene definert som gjentakintervall (opptil 1 års regn for trinn 1, opptil 5 års regn for trinn 2 og opptil 100 års regn for trinn 3). En annen tilnærming for grenser til tiltak i trinn 1, er å tallfeste et krav ut i fra årsnedbøren. Dette kan for eksempel være at 85 % av årsnedbøren skal håndteres åpent, 90 % av årsnedbøren skal infiltreres og ikke tilføres avløpsrenseanlegg via felles avløpssystem, at 95 % av årsnedbøren skal håndteres i grønne tiltak hvor vannet får mulighet til å tas opp i vegetasjon, eller at 99 % av årsnedbøren skal gjennomgå rensing før utslipp til vassdrag. Tilnærmingen formulerer på den måten et tallfestet krav som bedre beskriver den ønskede effekten enn det et gjentakintervall for overskridelse gjør. En liknende tilnærming blir i dag også benyttet i USA ved miljøsertifisering av byggeprosjekter gjennom LEED-systemet (Leadership in Energy and Environmental Design). I LEED-systemet gis det eksempelvis poeng (1 til 3 poeng) ut ifra hvor stor andel av årsnedbøren (85 til 98 %) som håndteres via vegetasjonsbaserte tiltak (LEED, 2017).

Dokumentasjonskrav for tilnærmingen forutsetter at det foreligger hydrologiske data på hvilke nedbørmengder som må håndteres for at det prostensive kravet imøtekommes. Det vil si at følgende spørsmål må besvares: Hvilken nedbørmengde må tiltaket kunne håndtere for å fange opp en bestemt andel av årsnedbøren? I påfølgende kapittel er metodikken for utarbeidelse av hydrologiske data som besvarer spørsmålet gjennomgått.

3. Metode for bestemmelse av dimensjonerende verdier

Det er i det videre kort redegjort for metoden som er benyttet til å transformere rå nedbørdata til dimensjonerende verdier uttrykt som en funksjon av regnvarighet og andel av årsnedbøren. Databehandlingen er utført i matlab og excel.

3.1 Datagrunnlag

Nedbørdata ble lastet ned fra eklime.no (Meteorologisk Institutt, 2017) for stasjonene oppsummert i Tabell 2. Datagrunnlaget utgjør observa-

Tabell 2: Oversikt over stasjoner det ble hentet nedbørdata.

Stasjonsnr.	Stasjonsnavn	Periode analysert	Periode med data	Manglende data
18701	OSLO - BLINDERN PLU	05.2006 – 04.2016	9 år 4 mnd	Enkelte måneder
18701	OSLO - BLINDERN PLU	04.1996 – 12.2005	6 år 3 mnd	Vinter-måneder
50480	BERGEN – SANDSLI	01.2010 – 12.2016	6 år 10 mnd	2008 - 2009
26890	DRAMMEN – MARIENLYST	05.1985 – 11.1994	4 år 11 mnd	Vinter-måneder og 1991
12290	HAMAR II	06.2007 – 12.2016	7 år 3 mnd	2009 og vinter 2007/08
68230	TRONDHEIM – RISVOLLAN	01.1999 – 12.2008	9 år 8 mnd	Vinter 2004
17870	ÅS - RUSTADSKOGEN	01.2006 – 12.2015	9 år 1 mnd	Store deler av 2013

sjonslister med tidsoppløsning på 1 minutt. Manglende data ble automatisk satt til 0 mm. Flere av stasjonene har også målt nedbør kun i sommermånedene og/eller har deler av perioden sin uten registreringer. Valg av stasjoner ble gjort ut ifra hensyn til lengde på periode med registrere data og/eller representativitet for de største byene i Norge.

3.2 Databehandling

For at resultatene skulle være anvendbare ved benyttelse av «*regnenvelopmetoden*» (Lindholm m.fl., 2012) var det nødvendig å beregne dimensjonerende nedbørmengder for ulike regnvarigheter. Valg av regnvarigheter ble basert på de verdier som typisk benyttes ved bruk av IVF-statistikk (Intensitet-Varighet-Frekvens). Det vil si at nedbørmengde ble summert opp for tidsintervaller på 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 360, 720 og 1440 minutter. Nedbør med f.eks. 60 minutters varighet ble bestemt ved å summere opp nedbørmengden for hver hele klokke time og så videre. Tilnærmingen medfører at de største nedbørmengdene for en bestemt varighet ikke nødvendigvis blir ivaretatt slik som er formålet ved utarbeidelse av IVF-statistikk. Videre ble det generert ytterligere 11 nye datasett, et for hver varighet, hvor tidspunktene og alle nedbørverdier med verdi 0 mm ble ekskludert og endelig sortert fra minst til størst. For hvert av datasettene ble dimensjonerende nedbørmengde $p(x)$ beregnet etter følgende formel:

$$p(x) = \frac{1}{m - n - 1} \left(x \sum_{i=1}^m p_i - \sum_{i=1}^n p_i \right) \quad (1)$$

Hvor $p(x)$ er dimensjonerende nedbørmengde [mm], x er andel av nedbøren som håndteres i måleperioden [%], p_i er nedbørmengden for datapunkt nr. i [mm], m er det totale antallet datapunkter [-] og n er det antallet datapunkter hvor nedbørverdi overskrider $p(x)$ [-]. Verdier for n og x ble bestemt numerisk vha. ikke-linear GRG (*Generalized Reduced Gradient*).

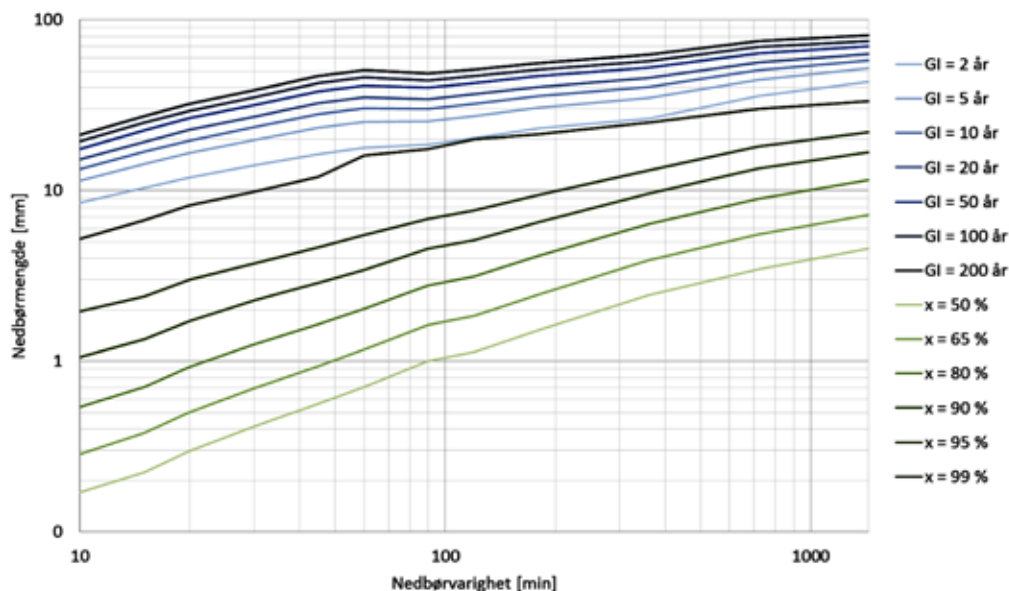
Ved bruk av overnevnte metode for datasett med nær 10 års varighet genereres det over 5 millioner dataverdier. Antallet verdier er tidkrevende å håndtere og forutsetter bruk av andre programmer enn Excel. Analysen med tidsoppløsning på 1 minutt ble derfor bare utført for Blindern perioden 2006 - 2016. Som en forenklet tilnærming for analyse ved alle stasjoner ble det benyttet en tidsoppløsning på 10 min., noe som reduserer antall dataverdier med 90 %. Resultatene fra analysen med tidsoppløsning på 1 og 10 min ble sammenliknet for å vurdere om oppløsning på 10 min gir tilstrekkelig nøyaktighet.

4. Resultater og diskusjon

Resultater fra analysene er gitt i slutten av artikkelen. I det videre gis det en kort redegjørelse av resultatene.

4.1 Dimensjonerende verdier med tidsoppløsning på 1 minutt

Resultatene av analysene utført på nedbørdata fra Blindern perioden 2006 – 2016 med tidsoppløsning på 1 minutt er vist i Figur 3. IVF-statistikk fra samme stasjon er inkludert i figuren for sammenlikning. Resultatene viser at dimen-



Figur 3: Nedbørmengder for varierende regnvarigheter og andel av årsnedbør håndtert (x) er vist med grønne kurver (perioden 2006 – 2016). Nedbørmengde for varierende regnvarighet og gjentakintervall (GI) er vist med blå kurver (perioden 1968 – 2015 uten krav om sammenhengende nedbør). Alle data er hentet fra stasjon 18701 Blindern PLU.

sjonerende nedbørmengder for å håndtere 99 % av årsnedbøren, utgjør gjennomsnittlig 81 % av nedbørmengdene for 2 års regnet for. Tilsvarende, utgjør dimensjonerende nedbørmengder for å håndtere 95 % av årsnedbøren bare 35 % av nedbørmengdene for 2 års regnet. Dimensjonerende nedbørmengder tilknyttet 95 % vurderes derfor som relativt beskjedne, samtidig som tiltak dimensjonert etter dette vil kunne fange opp det aller meste av årsnedbøren.

4.2 Sammenlikning av resultater for 1 og 10 minutter

Det ble funnet en tydelig korrelasjonen mellom resultater oppnådd for Blindern ved benyttelse av tidsoppløsninger på 1 og 10 minutter. Regresjonsanalyser mellom de to datasettene gir stigningstall fra 0,97 til 0,98 krysningpunkt fra -0,02 til 0,02 mm og regresjonskoeffisienter fra 99,8 til 99,9 %. Resultater hvor oppløsning på 10 minutter benyttes vurderes derfor som tilfredsstillende sett i lys av anvendelsen av resultatene. Eksempelvis, om en benytter resultatene fra analysen med oppløsning på 10 minutter til grunn vil dimensjonerende verdi ved regn med

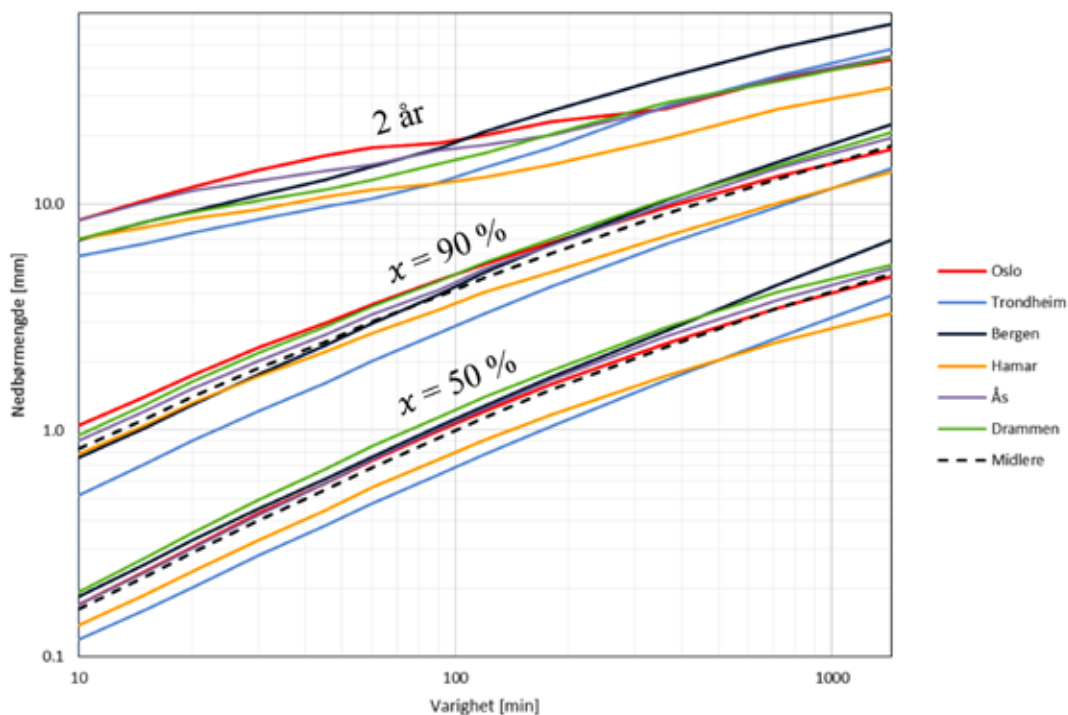
180 min varighet og 95 % bli 9,7 mm. Til sammenlikning vil resultatene med oppløsning på 1 minutt gi en dimensjonerende nedbørmengde på 9,4 mm for samme situasjon.

4.3 Sammenlikning av resultater fra ulike målestasjoner og midlere verdier

Figur 4 viser resultatene av analysene utført for = 50 og 90 % for alle stasjoner som ble analysert samt dimensjonerende nedbør med gjentakintervall for 2 år fra tilhørende IVF-statistikk. Det er også vist midlere verdier beregnet som gjennomsnittet for alle stasjonene. Oslo og Drammen har generelt de største verdiene ved korte varigheter mens Bergen har de største verdiene ved lange varigheter. Tilsvarende variasjoner kan også sees ved analyse av områdenes respektive IVF-statistikk og er en antatt effekt av klimatologiske forskjeller.

4.4 Eksempler på anvendelse av dimensjonerende verdier

Ved fortetting er kampen om arealene ofte stor, og det er normalt et spørsmål hvor stort areal et tiltak krever for å ha ønsket effekt. I Paus og



Figur 4: Dimensjonerende nedbørmengder for varierende regnvarigheter og andel av årsnedbør håndtert (50 og 90 %) og 2 års gjentaksintervall for analyserte stasjoner. Det er benyttet data med 10 minutters oppløsning i analysene.

Braskerud (2013) foreslår det en formel for dimensjonering av overflateareal på regnbed. Formelen gir i prinsippet en forenklet beskrivelse av enhver form for arealkrevende overvannstiltak som har evne til å lagre vann på overflaten og/eller infiltrere. Ved å dividere formelen på det reduserte avrenningsarealet (nedbørfelt multiplisert med midlere avrenningskoeffisient), kan et forholdstall mellom tiltakets nødvendige størrelse i forhold til det reduserte avrenningsarealet uttrykkes som:

$$f = \frac{P}{h + K_h \cdot t_r} \cdot 100 \% \quad (2)$$

Hvor f angir nødvendig areal til tiltak i forhold til det reduserte avrenningsarealet [%], P er dimensjonerende nedbørmengde [mm], h er maksimal vannstand på tiltakets overflate [mm], K_h er mettet hydrauliske konduktivitet [mm/

min] og t_r er dimensjonerende regnvarighet [min]. For arealer som ikke er forsknet i forhold til omkringliggende terreng, vil h tilsvare grop-magasineringsen. Det er antatt at avrenningsarealet er lite og at konsentrasjonstiden derfor er ubetydelig.

Ved bruk av formel 2 og «regnenvelopmetoden» er det beregnet f -verdier for fire hovedtyper overvannstiltak (gressareal, permeabel asfalt, regnbed og grønt ekstensivt tak). Med unntak av grønne tak er infiltrasjonsevne for hvert tiltak variert mellom dårlig, middels og høy (basert på oppgitte verdier i faglitteratur). For å undersøke forskjell i arealbehov er det beregnet f -verdier for både trinn 1 (definert som 95 % av årsnedbøren) og trinn 2 (gjentaksintervall på 20 år og klimafaktor på 1,30, Blindern).

Resultatene fra beregningene er gitt i Tabell 3 og viser at alle tiltak har kapasitet til å håndtere nedbørmengder tilknyttet trinn 1. For eksempel vil et 24 m² gressareal med lav infiltrasjon ikke

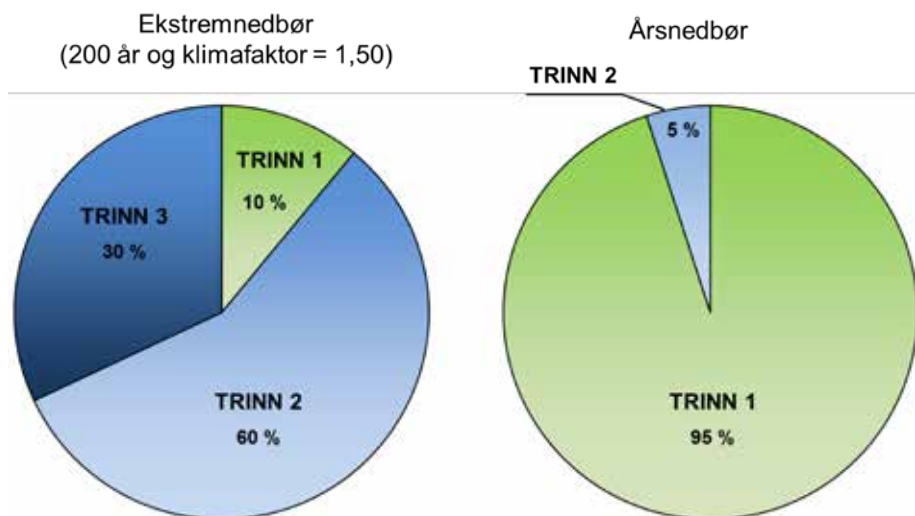
Tabell 3: Nødvendig tiltaksareal i forhold redusert avrenningsareal (f) for å håndtere overvann i trinn 1 (95 % av årsnedbøren) og trinn 2 (gjentaksintervall på 20 år og klimafaktor 1,30). Nedbørdata fra Blindern.

Dimensjonerende regnvarighet er gitt i (). Verdier av $f > 100\%$ tilsier at tiltaket ikke har kapasitet til å håndtere nedbøren som faller direkte.

Tiltakstype	f^a	K_h^b	f trinn 1	f trinn 2
	[mm]	[mm/t]		
Gressareal (lav infiltrasjon)	8	25	18,5 % (20 min)	180,1 % (20 min)
Gressareal (middels infiltrasjon)	8	188	5,0 % (10 min)	50,1 % (10 min)
Gressareal (høy infiltrasjon)	8	460	2,3 % (10 min)	23,3 % (10 min)
Hardt permeabelt dekke (lav infiltrasjon)	3	6	62,4 % (30 min)	588,4 % (20 min)
Hardt permeabelt dekke (middels infiltrasjon)	3	108	9,3 % (10 min)	93,7 % (10 min)
Hardt permeabelt dekke (høy infiltrasjon)	3	420	2,7 % (10 min)	27,0 % (10 min)
Regnbed (lav infiltrasjon)	250	27	3,2 % (360 min)	16,5 % (60 min)
Regnbed (middels infiltrasjon)	250	360	0,9 % (60 min)	8,2 % (30 min)
Regnbed (høy infiltrasjon)	250	1288	0,4 % (20 min)	4,4 % (15 min)
Grønt ekstensivt tak	8 + 20	-	78,5 % (1440 min)	292,8 % (1440 min)

^a Grop-magasinerer for hardt dekke og grøntareal er antatt å være 3 og 8 mm (Butler, 2010). Maksimal vannstand i regnbed er antatt å være 250 mm. Grønt ekstensivt tak er antatt å være begrenset av tilgjengelig porevolum og ikke infiltrasjon. Det er antatt jordtykkelse på 50 mm og effektiv porøsitet på 0,40.

^b Mettet hydrauliske konduktivitet er basert på min, midlere og maks verdier i Becker m.fl. (2016) for grøntareal, Al-Rubaei m.fl. (2013) for permeabelt asfalt og Paus (2016) for regnbed. Målinger via MPD-infiltrometer er multiplisert med korreksjonsfaktor på 0,60 iht. Solheim m.fl. (2017).



Figur 5: Illustrasjon av hvor vannmengdene håndteres (fordeling på ulike trinn) ved ekstremnedbør (venstre) og på årsbasis (høyre) i henhold til tre-trinns strategien.

bare kunne håndtere nedbør som faller direkte på tiltaket, men også kunne håndtere avrenning fra et 76 m² tett overflate (f.eks. tak). For nedbørmengder tilknyttet trinn 2 vil imidlertid det samme gressarealet ikke engang ha kapasitet til å håndtere nedbøren som faller direkte. Dette

vil først være mulig hvis infiltrasjonskapasiteten er større enn 70 mm/t.

Under de forutsetningene som er gitt i Tabell 3 viser resultatene at infiltrasjonsevne er avgjørende for om tiltaket har kapasitet, og at det er stor forskjell i arealbehovene for dimensjonering

etter trinn 1 og 2. For eksempel, et regnbed med infiltrasjonsevne på 360 mm/t vil kreve et areal tilsvarende 8,2 % av det reduserte avrenningsarealet om det skal fordroyes etter krav i trinn 2. Om det i stedet dimensjoneres for trinn 1 vil i underkant av 1 % være tilstrekkelig. Et så lite arealkrevende regnbed vil åpenbart ha begrenset effekt til å fordroye ekstremregn og det må derfor etableres tiltak for trinn 2 og 3. Samtidig vil et slikt regnbed sørge for at det aller meste av avrenningen over året vil håndteres åpent, tilføres vegetasjon, infiltreres, renses og avskjæres avløpssystemet. Fordeling av nedbørmengder per trinn etter denne tolkningen av tre-trinns strategien er vist for en ekstremstusjon og over året i Figur 5.

5. Oppsummering og konklusjoner

Det er beregnet dimensjonerende nedbørmengder basert på andel av nedbøren som skal fanges opp i løpet av året for seks stasjoner. Sammenlikning av resultater fra analyser med dataopplosning på 1 og 10 minutter viser liten forskjell, og 10 minutter er derfor tilstrekkelig oppløsning ved beregning av dimensjonerende nedbør. Resultatene viser at hvis 95 % av årsnedbøren skal fanges opp, vil dette tilsvare en begrenset nedbørmengde (anslagsvis en tredjedel av 2 års regnet). Ved dimensjonering etter nedbørmengder i trinn 1 vil en derfor kunne redusere arealbehovet til overvannstiltak betraktelig. Dette forutsetter at det etableres egne tiltak for trinn 2. Dette kan eksempelvis omfatte kontrollerte oversvømmelsesarealer eller underjordiske magasiner som først trer i kraft når tiltak i trinn 1 er fulle. Ved å planlegge overvannshåndteringen i en tidlig fase vil det kunne tilrettelegges for areal-effektive løsninger som ivaretar intensjonen i tre-trinns strategien til Norsk Vann, kommuneplanens bestemmelser og lovverket.

6. 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)

Asker kommune (2017). Kommuneplan for Asker 2018 – 2030. Bestemmelser til kommuneplanens arealdel datert 01.11.2017.

Becker, M.A., Muthanna, T.M. og Braskerud, B.C. (2016). Trinn 1: Reduser overvannet i avløpsnett ved å frakoble taknedløp. *Vann* 51 (4).

Butler, D. (2010) *Urban Drainage*. CRC Press

Direktoratet for Byggkvalitet (2017). Veiledning om tekniske krav til byggverk - Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning.

Government of Western Australia (2011): *Water Sensitive Urban Design in Western Australia: an introduction*, Govern-ment of Western Australia, Department of Water.

LEED - Leadership in Energy and Environmental Design (2017). *LEED v4 Building Design and Constructions*.

Lindholm, O., Bjerkholt, T. J., og Lien, O. (2011). Fremmedvann i nordiske avløpsledningsnett. *Vann* (1).

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

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

Lørenskog kommune (2015). Kommuneplan 2015 – 2026 Del 3 Planbeskrivelse, bestemmelser og retningslinjer. Vedtatt 11.02.2015 og sist endret 18.11.2015.

Meteorologisk institutt (2015). eKlima. Side tilgjengelig på: http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39049&_dad=portal&_schema=PORTAL

Oslo kommune (2015). Kommuneplan 2015 – Oslo mot 2030. Juridisk areadel. Vedtatt 23.09.2015.

Paus, K.H. og Braskerud, B.C. (2013) Forslag til dimensjonering og utforming av regnbed for norske forhold. *Vann* (1) 48.

Solheim, E.B., French, H.K., Braskerud, B.C. (2017). Måling av infiltrasjon fra overflaten for bruk av åpen LOD i praksis. *Vann* 3

Trondheim kommune (2014). Retningslinjer og bestemmelser – kommuneplanens arealdel 2012 – 2024. Vedtatt av bystyret 21.3.2013 og revidert etter bystyrevedtatt 24.4.2014.

7. Vedlegg

Tabell 4: Midlere dimensjonerende nedbørverdier [mm] for å håndtere en bestemt andel av årsnedbøren. Verdiene er data fra 18701 OSLO - BLINDERN PLU, 50480 BERGEN – SANDSLI, 26890 DRAMMEN – MARIENLYST, 12290 HAMAR II, 68230 TRONDHEIM – RISVOLLAN og 17870 ÅS – RUSTADSKOGEN. 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 fanget opp	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

Tabell 5: Dimensjonerende nedbørverdier [mm] for å håndtere en bestemt andel av årsnedbøren for stasjon 18701 Blindern, Oslo. Verdiene er basert på nedbørverdier perioden 1.5.2006 til 30.4.2016 med tidsoppløsning på 1 minutt.

		Regnvarighet [min]											
		10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440
Andel av årsnedbør fanget opp	50%	0,2	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	1,0	1,1	1,5	2,4	3,5	4,6
	65%	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,2	1,6	1,8	2,5	3,9	5,5	7,2
	80%	0,5	0,7	0,9	1,3	1,6	2,0	2,8	3,1	4,1	6,4	8,9	11,5
	90%	1,1	1,3	1,7	2,3	2,9	3,4	4,6	5,1	6,5	9,6	13,4	16,8
	95%	2,0	2,4	3,0	3,7	4,6	5,5	6,8	7,7	9,4	13,1	18,1	22,0
	99%	5,2	6,7	8,2	9,8	12,0	16,1	17,5	20,0	21,4	25,0	30,0	33,4

Tabell 6: Dimensjonerende nedbørverdier [mm] for å håndtere en bestemt andel av årsnedbøren for stasjon 68230 Risvollan, Trondheim. Verdiene er basert på nedbørverdier perioden januar 1999 til desember 2008 med tidsoppløsning på 10 minutt. 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 fanget opp	50%	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,7	2,6	3,9
	65%	0,2	0,3	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,3	1,7	2,6	4,0	6,1
	80%	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,3	1,7	2,1	2,8	4,3	6,5	9,7
	90%	0,5	0,7	0,9	1,2	1,6	2,0	2,7	3,3	4,3	6,6	9,8	14,4
	95%	0,8	1,0	1,3	1,7	2,3	2,9	3,8	4,7	6,1	9,3	13,5	20,0
	99%	1,8	2,4	2,9	3,6	4,6	5,5	6,8	8,4	10,7	16,5	24,4	34,4

Tabell 7: Dimensjonerende nedbørverdier [mm] for å håndtere en bestemt andel av årsnedbøren for stasjon 50480 Sandsli, Bergen. Verdiene er basert på nedbørverdier perioden januar 2010 til desember 2016 med tidsoppløsning på 10 minutt. 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 fanget opp	50%	0,2	0,3	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,3	1,7	2,7	4,4	6,9
	65%	0,3	0,4	0,5	0,7	1,0	1,2	1,7	2,0	2,7	4,3	6,8	10,5
	80%	0,5	0,7	0,8	1,2	1,6	2,0	2,7	3,3	4,4	7,0	10,7	16,0
	90%	0,8	1,0	1,3	1,8	2,4	3,0	4,0	5,0	6,6	10,4	15,3	22,6
	95%	1,1	1,5	1,9	2,5	3,3	4,1	5,4	6,8	8,9	13,9	19,9	28,8
	99%	2,6	3,3	4,0	5,2	6,4	7,6	9,0	11,5	14,3	22,5	30,9	41,4

Tabell 8: Dimensjonerende nedbørverdier [mm] for å håndtere en bestemt andel av årsnedbøren for stasjon 12290 Hamar II. Verdiene er basert på nedbørverdier perioden juni 2007 til desember 2016 med tidsoppløsning på 10 minutt. 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 fanget opp	50%	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,2	1,7	2,5	3,3
	65%	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,2	1,5	1,9	2,8	4,0	5,3
	80%	0,4	0,6	0,7	1,0	1,3	1,6	2,1	2,6	3,2	4,7	6,6	8,9
	90%	0,8	1,0	1,3	1,7	2,2	2,7	3,4	4,1	5,0	7,2	10,1	13,8
	95%	1,4	1,8	2,1	2,8	3,4	4,0	5,0	5,9	6,9	9,9	13,7	18,5
	99%	4,1	4,7	5,3	6,6	7,5	8,4	10,1	11,7	13,7	15,9	22,4	29,2

Tabell 9: Dimensjonerende nedbørverdier [mm] for å håndtere en bestemt andel av årsnedbøren for stasjon 17870 Rustadskogen, Ås. Verdiene er basert på nedbørverdier perioden januar 2006 til desember 2015 med tidsoppløsning på 10 minutt. 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 fanget opp	50%	0,2	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	1,0	1,3	1,7	2,6	3,8	5,2
	65%	0,3	0,5	0,5	0,7	1,0	1,2	1,6	2,0	2,7	4,1	6,0	8,1
	80%	0,5	0,7	0,9	1,2	1,6	2,0	2,7	3,3	4,4	6,6	9,6	13,0
	90%	0,9	1,2	1,5	2,0	2,7	3,3	4,2	5,2	6,6	9,9	14,4	19,7
	95%	1,5	1,9	2,4	3,1	3,9	4,8	5,8	7,2	9,0	13,3	19,3	26,2
	99%	3,7	4,4	5,2	6,0	7,6	9,1	10,6	12,9	15,8	22,2	31,0	43,1

Tabell 10: Dimensjonerende nedbørverdier [mm] for å håndtere en bestemt andel av årsnedbøren for stasjon 26890 Drammen. Verdiene er basert på nedbørverdier perioden mai 1985 til november 1994 med tidsoppløsning på 10 minutt. 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 fanget opp	50%	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	1,1	1,4	1,8	2,8	4,1	5,4
	65%	0,3	0,5	0,6	0,8	1,1	1,4	1,8	2,3	2,9	4,6	6,5	8,5
	80%	0,6	0,8	1,0	1,4	1,8	2,3	3,0	3,7	4,7	7,3	10,3	13,5
	90%	1,0	1,3	1,6	2,2	2,9	3,5	4,6	5,5	7,0	10,4	14,8	20,7
	95%	1,4	1,9	2,4	3,2	4,0	4,9	6,2	7,3	9,4	13,4	19,7	27,4
	99%	3,1	4,0	4,9	5,9	6,9	7,9	9,7	11,2	14,2	20,9	30,8	48,1