

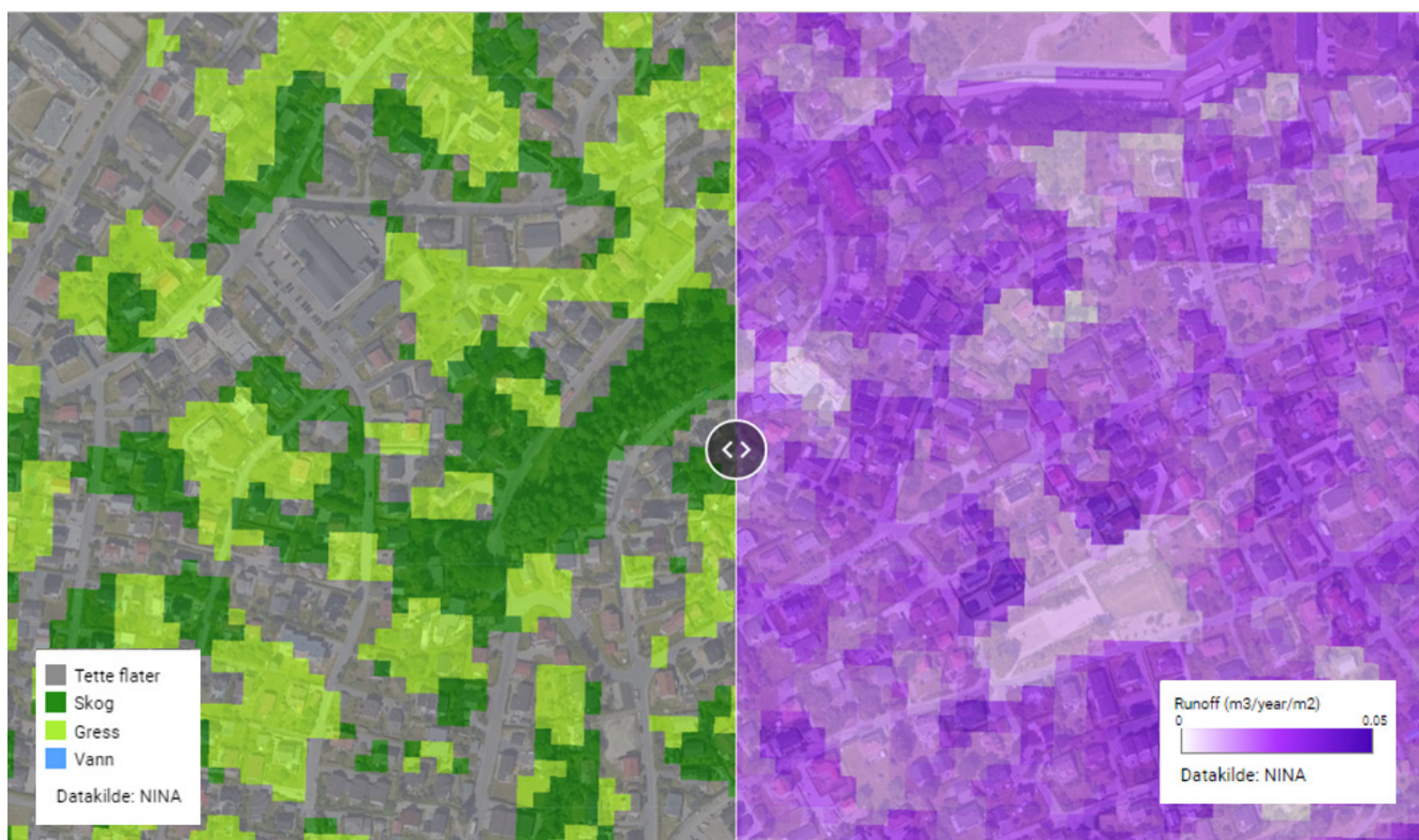
1851b

NINA Rapport

REO: estimering av overflateavrenning fra urbane felt

Beregningsgrunnlag for et arealdifferensiert overvannsgebyr (revidert utgave)

Nils Roar Sælthun
David N. Barton



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er NINAs ordinære rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på engelsk, som NINA Report.

NINA Temahefte

Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. Heftene har vanligvis en populærvitenskapelig form med vekt på illustrasjoner. NINA Temahefte kan også utgis på engelsk, som NINA Special Report.

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

Annen publisering

I tillegg til rapporteringen i NINAs egne serier publiserer instituttets ansatte en stor del av sine forskningsresultater i internasjonale vitenskapelige journaler og i populærfaglige bøker og tidsskrifter.

REO: estimering av overflateavrenning fra urbane felt

Beregningsgrunnlag for et arealdifferensiert overvannsgebyr
(revidert utgave)

Nils Roar Sælthun, UiO
David N. Barton, NINA

New Water Ways

SUSTAINABLE URBAN WATER MANAGEMENT

I samarbeid med

UiO : **Department of Geosciences**
University of Oslo



Sælthun, N.R & Barton, D.N. 2021. REO: Estimering av overflate-avrenning fra urbane felt. Beregningsgrunnlag for et arealdifferensiert overvannsgebyr (revidert utgave). NINA Rapport 1851b. Norsk institutt for naturforskning

Oslo, Januar 2021

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-4723-8

Revidering

I denne utgaven er det gjort mindre endringer til formelverk i avsnitt 3.3, oppdatert link til app, og rettet feil i regneeksemplet i Vedlegg.

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

Isabel Seifert (NIVA, New Waterways prosjektleder)

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningsjef Kristin Thorsrud Teien (sign.)

OPPDRAGSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

Norges forskningsråd

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

Prosjekt #270742

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Isabel Seifert, NIVA

FORSIDEBILDE

Alexander Venter ©

NØKKEWORD

- avrenning
- overvannsavgift
- hydrologisk modell
- økosystemtjenester
- naturgoder
- bynatur
- verdsetting

KEY WORDS

- runoff
- stormwater fee
- hydrological model
- urban ecosystem services
- urban nature
- valuation

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor
Postboks 5685 Torgarden
7485 Trondheim
Tlf: 73 80 14 00

NINA Oslo
Sognsveien 68
0855 Oslo
Tlf: 73 80 14 00

NINA Tromsø
Postboks 6606 Langnes
9296 Tromsø
Tlf: 77 75 04 00

NINA Lillehammer
Vormstuguvegen 40
2624 Lillehammer
Tlf: 73 80 14 00

NINA Bergen
Thormøhlens gate 55
5006 Bergen
Tlf: 73 80 14 00

www.nina.no

Sammendrag

Sælthun, N.R & Barton, D.N. 2021. REO: Estimering av overflateavrenning fra urbane felt. Beregningsgrunnlag for et arealdifferensiert overvannsgebyr (revidert utgave). NINA Rapport 1851b. Norsk institutt for naturforskning

NOU 2015:16 Overvann i byer og tettsteder foreslår overvannsebyr som alternativ for finansiering av overvannstiltak. Det har manglet en hydrologisk beregningsmetode som tar for seg hele arealet i en byggesone, som kan differensiere relativt overvannsansvar på eiendomsnivå, samtidig som den ikke krever kalibrering med lange hydrologiske tidsserier. Rapporten dokumenterer en hydrologisk modell for beregning av overvannsavrenning på årsbasis på eiendomsnivå, som beregningsgrunnlag for variabel del av kommunale overvannsgebyr. Modellen - REO - skal være enkel nok til at den kan implementeres i en online GIS-kart løsning basert på lett tilgjengelige arealdekke kart, og detaljert nok til å identifisere det relative ansvaret på eiendomsnivå for 'overvannsproduksjon.' R i REO indikerer at modellen er bygd rundt den rasjonale formel. Arealbrukstypene som er modellert er kompatible med tiltak i Oslo Kommunes metode for BlåGrønn Faktor. Modellen er implementert i et Excel-verktøy for estimering av overflateavrenning fra urbane felt, både flomtopp og totalavrenning. Modellen danner videre grunnlaget for beregning av overvannsgebyr i en online applikasjon:

<https://nina.earthengine.app/view/new-waterways>. Overvannsgebyr-applikasjonen er et verktøy for utforskning av ulike scenarier for overvannsgebyr med Oslo som eksempel.

Nils Roar Sælthun, Institutt for geofag UiO, n.r.salthun@geo.uio.no

David Barton, NINA, david.barton@nina.no

Abstract

Sælthun, N.R. & Barton, D.N. 2021. REO: estimation of stormwater runoff in urban catchments. Basis for calculating landcover differentiated stormwater fees. NINA Report 1851. Norwegian Institute for Nature Research.

The Norwegian Official Report NOU 2015:16 Stormwater in cities and urban areas proposes stormwater fees as an alternative for financing stormwater management. Such an approach requires a hydrological estimation method that addresses the whole built area of a city, capable of differentiating the relative stormwater production at property level, while not requiring long hydrological time series for calibration. This report provides documentation on such a model for stormwater runoff estimation at property level as a basis for a variable cost component of a municipal stormwater fee. The REO model for urban runoff aims to be simple enough for implementation in a GIS environment based on easily accessible landcover maps while being able to differentiate the relative annual stormwater production of a property. The R in REO indicates that it is build around the rational formula. Landcover classes are also compatible with Oslo Municipality's Blue Green Factor. The model is implemented in Excel, providing both peak flow and annual runoff outputs. The model is also the basis for an online stormwater simulation application <https://nina.earthengine.app/view/new-waterways> . The NWW stormwater App is implemented in Google Earth Engine as a "sandbox" for testing different fee design scenarios using Oslo as an example.

Nils Roar Sælthun, Department of Geoscience UiO, n.r.salthun@geo.uio.no

David Barton, NINA, david.barton@nina.no

Innhold

Sammendrag	3
Abstract	4
Innhold	5
Forord	6
1 Bakgrunn	7
1.1 To typer avrenningskoeffisienter	8
2 Dimensjonerende hendelser - den rasjonale formel	9
2.1 Den rasjonale formel.....	9
2.1.1 Avrenningskoeffisienten.....	9
2.1.2 Konsentrasjonstiden	9
2.1.3 Beregning av overflateavrenning på årsbasis	13
3 Verktøy for estimering av overflateavrenning	15
3.1 Feltstruktur.....	15
3.2 Estimat av avrenningskoeffisienter og Manningtall.....	16
3.2.1 Tak	17
3.2.2 Tette flater	18
3.2.3 Tette flater med trekroner	18
3.2.4 Delvis åpne flater	18
3.2.5 Permeable flater, plen.....	19
3.2.6 Permeable flater, skog.....	20
3.2.7 Grønne tak	20
3.2.8 Regnbed.....	21
3.2.9 Terrengforsenkning.....	21
3.2.10 Vadi	21
3.2.11 Oppsummering	22
3.3 Justering av volumavrenningskoeffisient ut fra topografi	22
3.4 IVF-kurver for vilkårlige sted.....	23
3.4.1 Implementering av regionale IVF-kurver	23
4 Oppsummering, veien videre	27
Referanser	28
Vedlegg – Inngangsdata og resultatpresentasjon	30
Inngangsdata	30
Eksterne data.....	31
Topografiske data	31
Koblinger.....	32
Resultatpresentasjon.....	32
Et regneeksempel.....	33
Før utbygging.....	33
Etter utbygging.....	33
Etter tiltak.....	33

Forord

Forfatterne vil takke Kim Paus, Asplan Viak for samtaler i idéutviklingsfasen. Vi takker Thomas Skaugen, NVE, Isabel Seifert, NIVA, og Bent Braskerud, VAV-Oslo Kommune, for gjennomlesing av tidligere utgaver av rapporten.

Vi takker prosjektet “NEW WATER WAYS - Towards water sensitive and climate adapted Nordic cities”, og Norges Forskningsråd for finansiering (NFR Project #270742).

I denne reviderte utgaven er link til NWW applikasjonen og regneksemplet i vedlegg oppdatert.

Januar 2021

David N. Barton, NINA

1 Bakgrunn

Utgangspunkt for denne analysen er ønsket om å etablere enkle modeller for estimering av overflateavrenning fra urbane felt med et minimum av feltparametere. Dette gjelder både total overvannsavrenning og avrenning fra enkelthendelser med gitt gjentakintervall og dekke både forholdene med og uten tiltak for lokale overvannsløsninger (LOD-tiltak).

I NOU 2015:16 Overvann i byer og tettsteder, i avsnitt Finansiering av overvannstiltak (s.18-19) drøftes kommunenes muligheter for å innføre overvannsgebyr. «Overvannsgebyret kan [...] betraktes som betaling for nytten av velfungerende lokalmiljø som prissettes i henhold til gjennomsnittsbetraktninger og solidaritet. Mengden overvann som tilføres kommunale anlegg er ikke avhengig av vannforbruk, men vil i stedet være en funksjon av eiendommens areal og avrenningsfaktor. Vass- og avløpsanleggslova foreslås derfor endret slik at kommunene får adgang til å kreve overvannsgebyr fra eier av fast eiendom som kan ilegges avløpsgebyr, og eier av fast eiendom som har, eller kan pålegges, tilknytning til kommunalt hovedanlegg for overvann. Eier av offentlig vei unntas fra bestemmelsen. Utvalget foreslår at overvannsgebyret skal ha en fast og en variabel del. Kommunen må i lokal forskrift fastsette nærmere bestemmelser om beregning av overvanngebyrets størrelse.»

Modellen for urban avrenning skal tjene som beregningsgrunnlag for et arealdifferensiert overvannsgebyr. Modellen skal være enkel nok til at den kan implementeres i en online GIS-kart løsning, og detaljert nok til å identifisere det relative ansvaret på eiendomsnivå for 'overvannsproduksjon.'

Ved å ta utgangspunkt i den rasjonale formel reduseres antallet parametere til avrenningskoeffisient, konsentrasjonstid, areal og lengde for hver arealbrukstype (arealene forenkles til rektangler), og koblinger mellom arealbrukstypene. Arealbrukstypene som er modellert er kompatible med tiltak i Oslo Kommunes metode for BlåGrønn Faktor (Oslo Kommune 2018). Vurderte arealbrukstyper er:

- Tak
- Tette flater
- Tette flater m/trekroner
- Delvis åpne flater
- Permeable flater, plen
- Permeable flater, skog
- Grønne tak, valg mellom
- 2-39 cm dekkedybde
- 40-79 cm
- 80 og mer
- Regnbed
- Terrengforsenking

- Vadi (engelsk: Swales). (Gabriel & Fiil, 2016))

Bekker og vassdrag er ikke inkludert – modellen beregner overvannsproduksjon til overvannsnett og bekk eller annen resipient.

1.1 To typer avrenningskoeffisienter

Det er flere måter å definere avrenningskoeffisienter på. Den volumetrisk overflateavrenningskoeffisienten, altså gjennomsnittlig overvannsproduksjon som andel av totalnedbøren betegner vi i det følgende med φ . Innen urbanhydrologi brukes gjerne avrenningskoeffisient om den flomtoppgenererende overflateavrenningen, og da gjerne i forbindelse med den rasjonale formel. Vi betegner den her som c .

I vår sammenheng er det derfor naturlig å ha to estimat for avrenningskoeffisient, φ for beregning av total avrenningsproduksjon og c for beregning av kulminasjonsnivå for dimensjonerende hendelser.

2 Dimensjonerende hendelser - den rasjonale formel

2.1 Den rasjonale formel

Den rasjonale formel eller rasjonale metode (Mulaney, 1851), etter (Dooge, 1974), er et av de mest brukte verktøy i hydrologisk dimensjonering, og på mange måter den eldste matematiske hydrologiske modellen. Thomas Mulvaney lanserte den som en forbedret beregningsmetode for flomdimensjonering i små nedbørfelt. Den er stadig i bruk, både for naturlige og urbane felt, og kalles så fordi den er dimensjonelt homogen. Den inngår også i en del urbanhydrologiske modeller. Metoden er populær særlig fordi den er basert på svært få parametre. Formelen er

$$q_{max} = c \cdot i(T_c) \cdot a \quad [1]$$

hvor

q_{max} er flomtopp, f.eks. i l/s og $i(T_c)$ er dimensjonerende nedbør (f.eks. i l/s ha) over tiden T_c .

c er avrenningskoeffisienten (runoff coefficient), dimensjonsløs [0-1]

T_c er konsentrasjonstiden, tiden det tar for (den hurtige) overflateavrenningen å bevege seg fra det fjerneste punktet som bidrar til flomtopp, til utløpet (evt innmatningspunkt på nettverket).

a er feltareal, evt arealet som bidrar til flomavrenningen (f.eks. i ha)

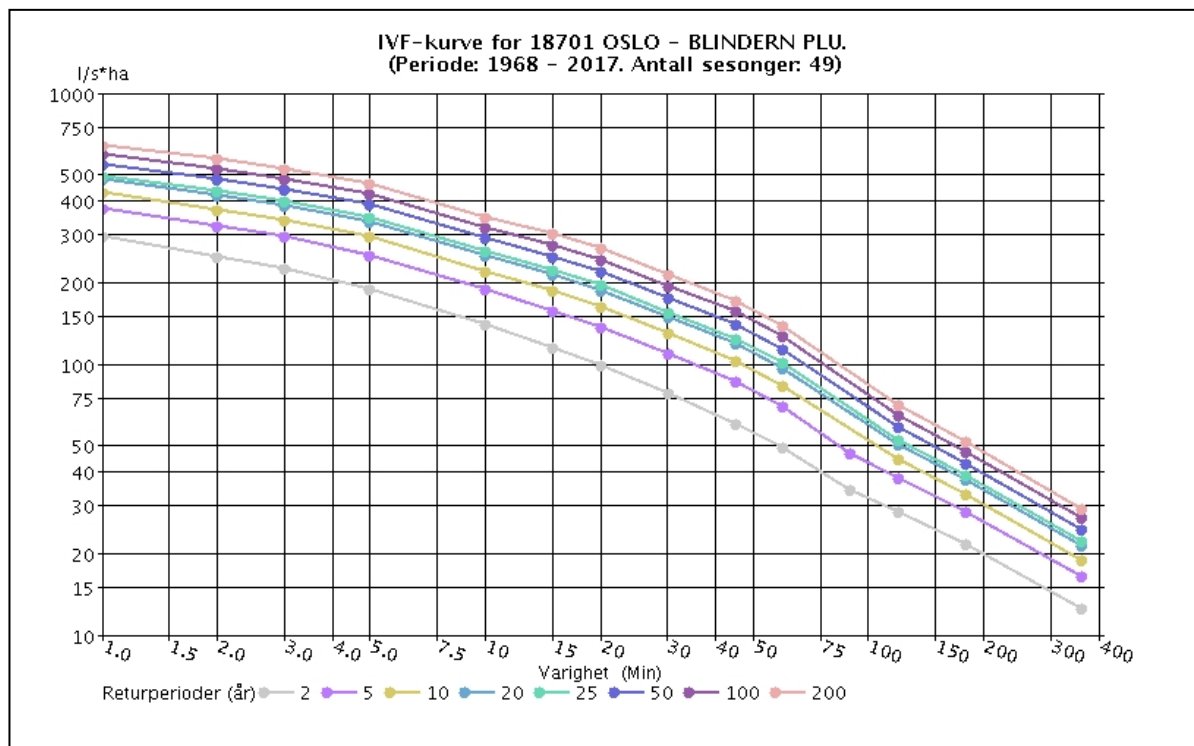
c er tabulert i mange standardverker og i kalkulatorer på nettet. Den er normalt forskjellig fra og høyere enn φ . Grunnen til dette er at fordampning fra gropmagasin/intersepsjonsmagasin har liten effekt på flomtopp, men stor betydning for den totale vannbalansen.

2.1.1 Avrenningskoeffisienten

Avrenningskoeffisienten c er selvsagt en viktig parameter i den rasjonale formel. En av grunnene til at den rasjonale formel stadig er i utstrakt bruk for urbane felt er at avrenningskoeffisienten for tette flater er høy og relativt lett å estimere. De tette flatene dominerer overvannsproduksjonen. Når nedbørfeltet både har tette flater (med høy avrenningskoeffisient) og permeable flater (med lav avrenningskoeffisient) vil det være et spørsmål om man skal betrakte de under ett og anslå en felles avrenningskoeffisient eller behandle de forskjellige arealtypene hver for seg. Det siste er absolutt å foretrekke både fordi det forenkler bestemmelsen av avrenningskoeffisienter og fordi konsentrasjonstiden og dermed dimensjonerende nedbørintensitet også vil være forskjellige. Vi behandler arealtypene hver for seg.

2.1.2 Konsentrasjonstiden

Som vist i figur 1 faller midlere nedbørintensitet med varigheten (tiden det midles over). Det er en vanlig antagelse ved bruk av den rasjonale metoden at midlere intensitet over en varighet som tilsvarer konsentrasjonstiden til feltet er bestemmende for avrenningens kulminasjonsverdi. Konsentrasjonstiden T_c er altså tiden det tar for overflateavrenningen å bevege seg fra den fjerneste del av feltet til utløpet. For varigheter kortere enn



Figur 1 Intensitet-varighet-frekvenskurve for Blindern (fra Meteorologisk institutts eKlima). Merk at aksene er logaritmiske.

konsentrasjonstiden får ikke hele feltet tid til å reagere, for varigheter lengre enn konsentrasjonstiden er hele feltet bidragsyter, men intensiteten er fallende.

Det finnes empiriske formler for konsentrasjonstid. For norske forhold er de to følgende utviklet i små felt < 2.5 km² (Myrabø, 1991):

$$T_c = 0.6 \cdot L \cdot H^{-0.5} + 3000 \cdot A_{SE} \text{ (naturlige felt)}$$

$$T_c = 0.02 \cdot L^{1.15} \cdot H^{-0.39} \text{ (urbane felt) [2]}$$

hvor

T_c er konsentrasjonstiden i minutter

L er feltlengden i m

H er høydeforskjellen i m

A_{SE} er «effektiv sjøprosent», innsjøareal dividert med totalt feltareal, veid med hvor stor del av feltet som drenerer gjennom innsjøen. Størrelse 0-1.

Formlene er anbefalt brukt i SINTEFs håndbok om kulvertdimensjonering (Berg, Lunde, & Mosevoll, 1992), Statens vegvesens håndbok N200 (Statens vegvesen, 2014) og NVEs veileder for flomberegninger i små felt (Stenius, Glad, Wang, & Væringstad, 2015).

Som andre empiriske formler for konsentrasjonstid forutsetter disse implisitt at konsentrasjonstiden er en feltkonstant. I virkeligheten avtar konsentrasjonstiden med økende nedbørintensitet, ettersom mer overflateavrenning gir større hastighet på vannet. Dessuten spesifiserer de ikke arealbruk, så de er av mindre nytte når man skal beskrive sammensatte felt med vekslende mellom ulike arealbruk og effekten av LOD-løsninger.

En mer fysikalsk tilnærming til å estimere T_c er å anslå vannhastigheten v . En enkel metode som gjerne blir brukt til overslagregning er å sette hastigheten til 1-2 m/s (Stenius, Glad, Wang, & Væringstad, 2015). Dette gjelder imidlertid i vassdrag, ikke over terreng. En mer realistisk tilnærming er å bruke Mannings formel som er en veletablert og utprøvd metode for hydrauliske beregninger. Den lyder

$$v = M \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \quad [3]$$

hvor

v er hastighet

M er Mannings tall, et mål på glatthet

R er hydraulisk radius, definert som vått tverrsnittareal dividert på våtet periferi, for flatestrøm over terreng vil hydraulisk radius være vannveiens dybde

S er helningen av vannveien.

Siden konsentrasjonstiden er feltlengden L dividert på en typisk hastighet når vi bruker hastighetsformler ser vi at både empiriske formler som [2] og hastighetsformler som [3] fanger opp feltparametre som feltlengde og helning.

Det finnes en rekke tabeller for typiske verdier for Mannings tall. Tabell 1 er fra Vassdrags-håndboka (Fergus, Hoseth, & Sæterbø, 2010), tallene er igjen hentet fra Ven Te Chows klassiske verk om vassdragshydraulikk (Chow, 1959). Første tall er minimum, så typisk verdi og til høyre maksimumsverdi. Glatte flater mangler her.

Tabell 2 er fra US Department of Agriculture (USDA, 2010) og er basert på et klassisk arbeid av Edwig Engman (Engman, 1986). Legg merke til at Mannings tall n som brukes i amerikanske kilder er $1/M$. Som vi ser av Mannings formel vil hastigheten variere langs strømningsveien etter- som hydraulisk radius (dypet) vil øke nedover fra vannskillet til utløpet. Det er derfor ikke uten videre mulig å beregne konsentrasjonstiden T_c ut fra Mannings formel alene. Den må kombineres med Saint Venants ligninger (kontinuitetsligning og bevarelse av bevegelsesmoment). I mange anvendelser innen vassdragshydraulikk er det mulig å forenkle disse til ligningen for en kinematisk bølge. Dette er en metode brukt i endimensjonale hydrauliske modeller og i

Tabell 1 Manningtall for vannstrøm over terreng, fra Vassdragshåndboka

Flom over åpent landskap	Vanlige M-verdier
Flomsletter, eng Kort gras Langt gras	29-33-40 20-29-33
Flomsletter, åkerland Uten vekster Radvekster Moden grøde	25-33-50 22-29-40 20-25-33
Busklandskap, lett med planter Busker og trær, sommer Busker og trær, vinter	14-20-29 6-13-25 9-16-29
Skog, tett lauvskog, sommer Nyhogd land med stubber Tømmerskog, flom under greiner Samme, men greiner under flomnivå	5-7-9 20-25-29 8-10-12 6-8-10

SWMM. Den har generelt ikke analytiske løsninger, men kan ha det i spesialtilfelle.

Dersom vi ser på endimensjonal turbulent strøm på en hellende flate med konstant nedbørintensitet, og definerer konsentrasjonstiden som det tidspunktet etter nedbørens start når utstrømningen fra flaten er konstant, så gir kombinasjonen Mannings formel og kinematisk bølge-formelen (ASCE, 1992), s. 88:

$$T_c = 7 \left(\frac{L}{M\sqrt{S}} \right)^{3/5} i_e^{-2/5} \quad [4]$$

hvor L er lengden på flaten i m, S er helningen (dimensjonsløs, tangens til helningsvinkelen), M er Manningtallet og i_e er den «effektive» nedbøren i mm/h. Den effektive nedbøren er den del av nedbøren som bidrar til avrenningen, altså nedbør minus infiltrasjon og fordampling. I sammenheng med den rasjonale formel og avrenningskoeffisienter har vi

$$i_e = c \cdot i$$

og dermed

$$T_c = 7 \left(\frac{L}{M\sqrt{S}} \right)^{3/5} (ci)^{-2/5} \quad [5]$$

Formelen fungerer ikke dersom helningen er null. I praksis vil det trolig være best å sette helningen til 0.005 dersom arealet er flatt (for eksempel takflater). Ved helning 0.005 og høyere har også laboratorieforsøk gitt resultater som passer med kinematisk bølge (Molen, Torfs, & Lima, 1995).

En kinematisk bølge beveger seg raskere enn vannet selv – bølgehastigheten er 5/3 av vannhastigheten. Konsentrasjonstiden beregnet med denne metoden blir derfor 3/5 av konsentrasjonstid beregnet med utgangspunkt i vannhastighet. (Eagleson, 1970) har mer detaljer.

Problemet her er at i også er en funksjon av T_c . Dermed må i utgangspunktet løsning finnes ved en iterativ prosedyre. De finnes

Tabell 2 Verdier av Mannings n for forskjellige overflater fra USDA

Surface description	n ^{1/}
Smooth surface (concrete, asphalt, gravel, or bare soil).....	0.011
Fallow (no residue).....	0.05
Cultivated soils:	
Residue cover ≤ 20%.....	0.06
Residue cover > 20%.....	0.17
Grass:	
Short-grass prairie.....	0.15
Dense grasses ^{2/}	0.24
Bermudagrass.....	0.41
Range (natural).....	0.13
Woods: ^{3/}	
Light underbrush.....	0.40
Dense underbrush.....	0.80

1 The Manning's n values are a composite of information compiled by Engman (1986).
 2 Includes species such as weeping lovegrass, bluegrass, buffalo grass, blue grama grass, and native grass mixtures.
 3 When selecting n , consider cover to a height of about 0.1 ft. This is the only part of the plant cover that will obstruct sheet flow.

riktignok løsninger basert på IVF-kurver fra USA, se (Froelich, 2011).

Dersom IVF-kurven kan beskrives ved en potensformel av typen

$$i = mV^{-n} \quad [6]$$

Hvor V er varigheten og m og n er konstanter, og vi setter V lik konsentrasjonstiden T_c kan vi eliminere intensiteten i i ligning [5], og får

$$T_c = (mC^{-2.5})^{\frac{1}{-2.5+n}} \quad [7]$$

Hvor C er en funksjon av feltparametrene i [5]:

$$C = 7 \left(\frac{L}{M\sqrt{S}} \right)^{3/5} c^{-2/5} \quad [8]$$

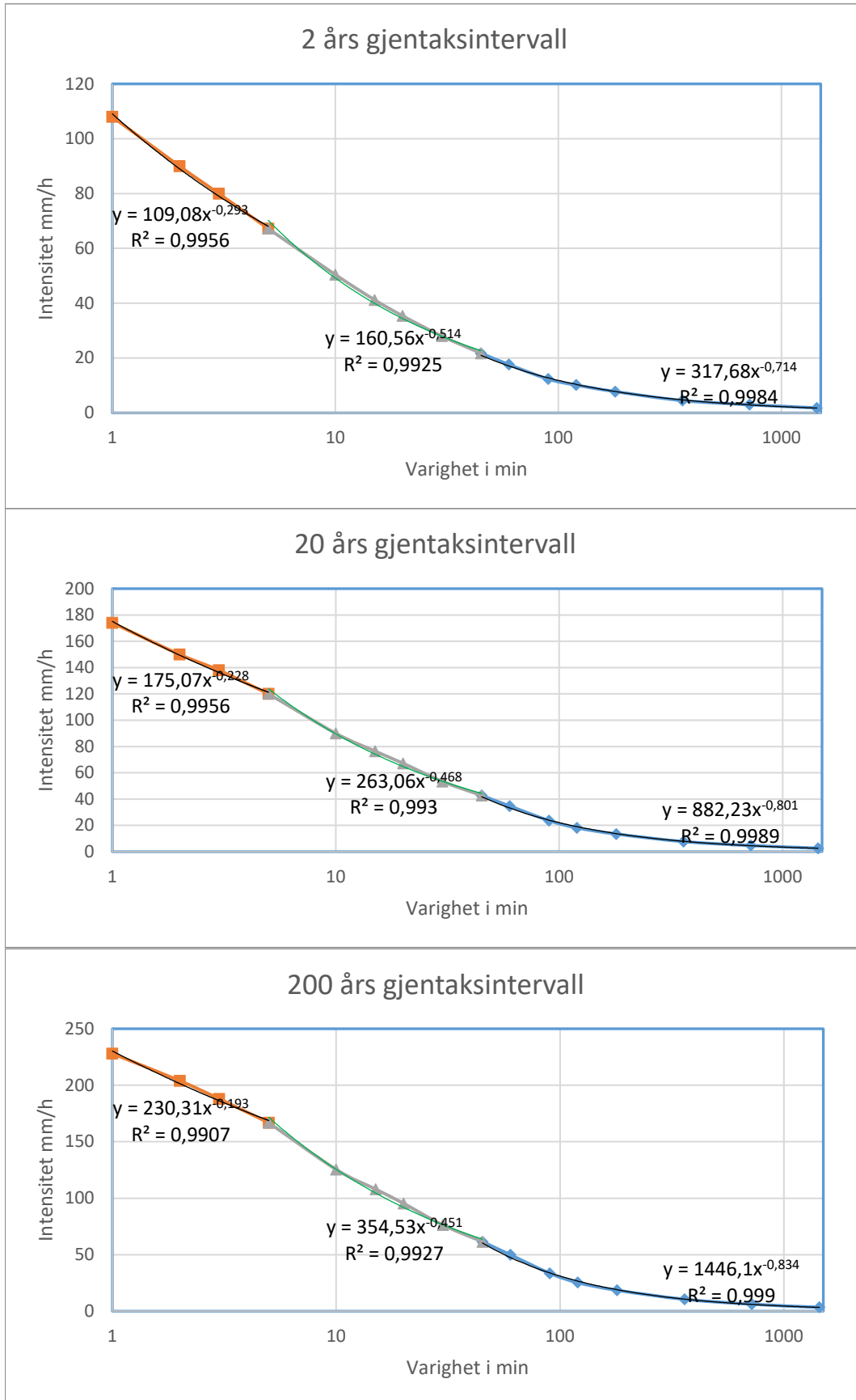
For IVF-kurven for Blindern viser det seg at den lar seg stykkevis representere av [6], med tre segmenter, 1 til 5 minutt, 5 til 45 og 45 min til et tett døgn. Noen eksempler i Figur 5. Fullt sett av konstanter (for alle gjentakintervall) i Tabell 3.

2.1.3 Beregning av overflateavrenning på årsbasis

Volumet av overflateavrenningen (mm/år) er bare estimert som årsnedbør multiplisert med volumavrenningskoeffisienten φ . Det innebærer at overflateavrenningen bare blir en funksjon av årsnedbør, φ , arealtypefordeling og koblingen mellom arealer. Topografiske parametere som tilrenningslengde og skråning er ikke egne parametere, selv om de utvilsomt har betydning. Mer om dette i 3.3.

Tabell 3 Konstantene m og n i ligning [7] for alle gjentakintervall for Blindern

Gjentaks-intervall	m1 <5 min	n1 <5 min	m2 5 - 45 min	n2 5 - 45 min	m3 > 45 min	n3 > 45 min
2	109.1	0.293	160.6	0.514	317.7	0.714
10	156.4	0.239	235.1	0.476	716.4	0.785
20	175.1	0.228	263.1	0.468	882.3	0.801
25	181.1	0.227	272.5	0.466	935.0	0.806
50	194.3	0.203	297.7	0.456	1110.7	0.818
100	212.8	0.199	325.7	0.453	1267.6	0.825
200	230.3	0.193	354.5	0.451	1446.1	0.834



Figur 2 Tre-segment tilpasning til IVF-kurven for Blindern

3 Verktøy for estimering av overflateavrenning

Pilotimplementeringen av beregningene er gjort i form av et Excel-verktøy for estimert av overflateavrenning fra urbane felt, både flomtopp og totalavrenning. For flomtopp benyttes avrenningskoeffisient c , for totalavrenning volumavrenningskoeffisient φ . For enkel portering til andre plattformer er det laget uten bruk av makro-programmering.

Excel-verktøyet er i et eksempel fra Oslo implementert i Google Earth Engine:

<https://nina.earthengine.app/view/new-waterways>

3.1 Feltstruktur

Verktøyet kan håndtere følgende typer delarealer:

- Tak
- Tette flater
- Tette flater m/trekroner
- Delvis åpne flater
- Permeable flater, plen
- Permeable flater, skog
- Grønne tak, valg mellom
- 2-39 cm dekkedybde
- 40-79 cm
- 80 og mer
- Regnbed
- Terrengforsenking
- Vadi

Delarealene er karakterisert ved areal, lengde, helning, Manningtall, avrenningskoeffisient og volumavrenningskoeffisient, bortsett fra regnbed og terrengforsenking som er karakterisert av areal og avrenningskoeffisienter. Areal, lengde og helning settes av bruker, eller hentes fra GIS-kart. De øvrige parameterne er forhåndssatt.

Delarealene er som standard koblet til ledningsnett, og det er avrenningstopp til nettet som beregnes. Siden de ulike delarealene har forskjellige konsentrasjonstider beregnes i første omgang hvilket delareal som vil gi størst bidrag til overvannsproduksjon til nettet – ofte vil det være de tette flatene. Så benyttes konsentrasjonstiden for dette delarealet for beregning av flomtopp – bidragene fra de øvrige delarealene veies med forholdet mellom det dominerende delarealet og det aktuelle arealets konsentrasjonstid dersom arealets konsentrasjonstid er større enn det dominerende arealets. Dette gjenspeiler at bare deler av disse feltene får tid til å bidra til flomtoppen.

I Excel-modellen kan de fleste delarealene kan viderekobles til andre arealtyper, helt eller delvis. Maksimalt som kan overføres er naturlig nok resterende vannføring til nettet. Videre er det følgende spesifikke begrensninger:

- Tak, tette flater og tette flater med kroner til permeable flater, plen og skog: Maksimal arealandel er arealet til mottakende flate.
- Tak, tette flater og tette flater med kroner til delvis åpne flater: Maksimal arealandel er halvparten av arealet til mottakende flate.
- Delvis åpne flater til permeable flater, plen og skog: Maksimal arealandel er to ganger arealet til mottakende flate.
- Tak, tette flater og tette flater med kroner til regnbed: Maksimal arealandel er 14 ganger arealet til regnbedet (Braskerud & Paus, 2013).
- Delvis åpne flater til regnbed: Maksimal arealandel er 28 ganger arealet til regnbedet.
- Tak, tette flater og tette flater med kroner til terrengforsenkning: Maksimal arealandel er 10 ganger arealet til terrengforsenkning.
- Delvis åpne flater til terrengforsenkning: Maksimal arealandel er 20 ganger arealet til terrengforsenkningen.

Delarealer kan seriekobles, men maksimalt tre ledd, f.eks. tak til vadi til regnbed.

Det er også mulig å føre avrenning ut av feltet utenom nettet, f.eks. til bekk.

Riktig spesifisering av viderekoblinger mellom flater på en tomt forutsetter lokal kunnskap om tomten som ikke er tilgjengelig fra GIS-data basert på fjernmåling. Forhåndssettingen i Google Earth Engine applikasjonen¹ basert på GIS-data er at alle flater på tomten er koblet direkte på nett. Faktiske koblinger bestemmes så manuelt.

3.2 Estimat av avrenningskoeffisienter og Manningtall

COWI har på oppdrag fra Miljødirektoratet gått gjennom en rekke publiserte avrenningskoeffisienter (COWI, 2015). De viktigste kildene som er relevant i denne sammenhengen er:

- Norsk Standard NS-EN 752:2008 Utvendig stikklednings- og hovedledningssystemer. Denne angir intervaller for avrenningskoeffisienter (c) for enkeltflater. Som standard er den erstattet av (Norsk Standard, 2017)
- Norsk Vann A 193:208, Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem (Lindholm, Endresen, Smith, Tønder, & Thorolfsson, 2012). Denne behandler også enkeltflater og angir intervaller. Er igjen hentert fra «Stormwater Collection Systems Design Handbook» (Westphal, 2001).
- Svenskt Vatten P90 Dimensionering av allmänna avloppsledningar (Svenskt Vatten, 2004). Relativt detaljert på flatetyper, ikke intervaller.
- SFT TA-550 Veiledning ved dimensjonering av avløpsledninger (STF, 1979). Denne er spesiell ved at den angir avrenningskoeffisienter som funksjon av nedbørintensitet.

¹ <https://nina.earthengine.app/view/new-waterways>.

- Institutt for vassbyggings kompendium til Grunnkurs i VAR-TEKNIKK (Bøyum, 1981). Intervall for avrenningsfaktorer for tre hovedgrupper, impermeable, semipermeable og permeable, og to nedbørintensiteter, 50 og 200 l/s ha.

Paus har satt sammen en liste med data fra Svenskt Vatten P28 (avløst av P90 (Svenskt Vatten, 2004)), Statens vegvesen (Statens vegvesen, 2014), Oslo kommune (Oslo kommune, 2017) og VA/Miljø-blad (VA/Miljø-blad, 2013). Informasjonen i den siste ser ut til stort sett å være hentet fra publikasjoner fra Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. i Bonn.

Volumavrenningskoeffisientene vil i noen grad være avhengig av terrenghelningen. Flatt terreng gir lengre oppholdstid og mer infiltrasjon enn bratt terreng. Svenskt Vattens tabeller opererer med avrenningskoeffisienter som ligger 20 til 50% høyere for kupert terreng enn for flatt terreng (Svenskt Vatten, 2004). Dette ser rettnok ut til å gjelde toppavrenning, c . På tilsvarende måte er volumavrenningskoeffisienten avhengig av vannveiens lengde, L .

Manningtallene i det følgende er stort sett basert på eller ekstrapolert fra USDAs «National Engineering Handbook» (USDA, 2010) og US EPAs «Storm Water Management Model Reference Manual – Volume 1 Hydrology» (Rossman & Huber, 2016). Disse er igjen stort sett basert på arbeidene (Chow, 1959), (Crawford & Linsley, 1966), (Engman, 1986) og (Yen, 2001). Den første er basert på modellsimuleringer, de to andre på laboratoriearbeid og simulering med kinematisk bølge. For den som oppsøker kildene er det viktig å være klar over at amerikansk litteratur angir Manning's roughness coefficient n som er $1/M$.

3.2.1 Tak

Takflater har vanligvis avrenningskoeffisient og volumavrenningskoeffisient nær 1 siden det ikke er infiltrasjon. Et unntak er store flate tak. Her opererer Norsk standard NS-EN 752:2008 med avrenningskoeffisient 0.5 for flate tak over 10000 m². I den grad det er aktuelt å inkludere slike tak vil det være naturlig å opprette en egen delarealtype.

Estimat for avrenningskoeffisient fra kildene:

- Norsk Standard: 0.9 - 1.0
- Norsk Vann: 0.8 – 0.9
- Svensk Vatten: 0.9
- SFT: i praksis 0.8 – 0.9
- Oslo kommune: 0.85 - 0.95

En omfattende feltmåling fra norske forhold av avrenningen fra grønne tak og tak uten vegetasjonsdekker i forbindelse med prosjektet Exflood gikk over fem år (Braskerud B. C., 2014). Gjennom hele året var c i praksis 1, noe lavere i sommermånedene, 0.92 i juni, juli og august. Grunnen til at årsverdiene likevel blir 1 (til og med litt over) skyldes trolig at nedbørmengdene underestimeres noe ved snøfall.

Vi setter den til 0.95, med variasjonsområde 0.8 – 1.0.

Volumavrenningskoeffisienten φ vil være lavere pga. vætningstap ved smånedbør. Vi setter den til 0.8, med variasjonsområde 0.5 – 0.9.

Manningtall:

Det lite å finne spesifikt for tak, det er nærliggende å bruke verdier for asfalt og betong:

- Engman: 90 (75 - 100)
- SWMM: 90 (70 – 100)

Vi setter M til 90 med variasjonsområde 70 – 100.

3.2.2 Tette flater

Det forutsettes ingen infiltrasjon, men en del initielt tap ved vætning og gropmagasinerings.

Estimat for avrenningskoeffisient fra kildene:

- Norsk Standard: 0.9 - 1.0 (samme som tak)
- Norsk Vann: 0.7 – 0.8
- Svensk Vatten: 0.8
- SFT: I praksis 0.8 – 0.9 (samme som tak)
- Oslo kommune: 0.85 - 0.95 (samme som tak)

Avrenningskoeffisienten for tette flater vil i snitt være lavere enn for tak. Vi setter den til 0.85 (0.7 – 1.0). Volumavrenningskoeffisienten φ vil være lavere pga vætningstap og ved smånedbør. Vi setter den til 0.7 (0.5 – 0.8).

Manningtall:

Vi bruker verdiene for asfalt og betong og setter M til 90 (70 – 100)

3.2.3 Tette flater med trekrone

Her kan det tenkes mange forskjellige konstellasjoner av treslag, kronedekning og opparbeidelse rundt stamme som vil påvirke avrenningen. Den hydrologiske effekten vil stort sett være begrenset til vætningstap på bladverk («intersepsjon») og nedstrømming lang stammen («stemflow») dersom dette vannet blir infiltrert. Vannforbruket til plantene vil komme fra andre flater enn de lokale tette flatene. Dersom terrenget bevisst er formet slik at vannet fra de tette flatene føres til infiltrasjonsbassenger rundt trestammene stiller det seg annerledes (som for eks. trær i regnbed).

Avrenningskoeffisienter:

Det er ikke funnet rapporter om avrenningskoeffisienter fra slike områder. Vi legger til grunn at c blir litt mindre enn tilsvarende tette flater, mens φ er signifikant lavere. Vi setter c til 0.70 (0.6 – 0.8) og φ til 0.5 (0.4 - 0.6).

Manningtall:

Bli lite påvirket. Settes lik tette flater, 90 (70 – 100)

3.2.4 Delvis åpne flater

Dette kan være ulike semipermeable flater (grusveier, steinsatte plasser med permeable fuger, permeabel asfalt m.m.).

Estimat for avrenningskoeffisient fra kildene:

- Norsk Vann: 0.4 – 0.6 (grusveier)
- Statens vegvesen: 0.3 – 0.7 (grusveier)
- Svensk Vatten: 0.4 – 0.7 (grusveier, steinsatte flater med grusfuger)
- SFT: i praksis 0.3 – 0.7 (grusveier - plasser)
- Oslo kommune: 0.5 - 0.8 (grusveier - plasser)
- Institutt for vassbygging: 0.3 – 0,7 (semipermeable flater)

Vi setter avrenningskoeffisienten til 0.6 (0.3 – 0.8) og volumavrenningskoeffisienten φ til 0.4 (0.2 – 0.6).

Manningtall:

Fra kildene:

- Engman: 50 (35 - 85) (graveled surface)
- SWMM: 65 (rough impervious surface)

Vi setter M til 50 (35 – 85).

3.2.5 Permeable flater, plen

Avrenningskoeffisienten for plen- og parkareal varierer sterkt med nedbørintensitet og markfuktighet. Volumavrenningskoeffisienten vil være lav.

Estimat for avrenningskoeffisient fra kildene:

- Norsk Standard: 0.0 – 0.3 (permeable flater)
- Norsk Vann: 0.05 – 0.1 (plen)
- Statens vegvesen: 0.2 – 0.4 (dyrket mark og parkområder)
- Svensk Vatten: 0.1 (park med rik vegetasjon)
- SFT: i praksis 0.05 – 0.4 (parker - plener)
- Oslo kommune: 0.3 - 0.5 (plen, park, eng, skog, dyrket mark)
- Institutt for vassbygging: 0.01 – 0.2 (helt permeable flater)

Initiell testing av modellen med kalibrert Storm Water Management Model (SWMM) som sammenligningsgrunnlag indikerer at 0.1 gir mer realistiske resultat enn 0.3, både for permeable flater (Folgerø, 2020). Valget av avrenningskoeffisient for permeable flater har stor innflytelse på effekten av tiltak som innebærer frakobling av tak og tette flater til plen.

Vi setter avrenningskoeffisienten til 0.1 (0.05 – 0.5) og volumavrenningskoeffisienten φ til 0.02 (0.01 – 0.10).

Manningtall:

Fra kildene:

- Engman: 7 - 20 (grass and pasture)

- SWMM: 15 - 30 (forskjellige gresslag)

Vi setter M til 10 (7 – 30).

3.2.6 Permeable flater, skog

Estimat for avrenningskoeffisient fra kildene:

- Norsk Standard: 0.0 – 0.3 (permeable flater)
- Statens vegvesen: 0.2 – 0.5 (skogsområder)
- Svensk Vatten: 0 - 0.1 (flat tettbevokst skog)
- SFT: i praksis 0.0 – 0.15 (skog)
- Oslo kommune: 0.2 - 0.5 (skog)
- Institutt for vassbygging: 0.01 – 0.2 (helt permeable flater)

Vi setter avrenningskoeffisienten til 0.1 (0.01 – 0.5) og volumavrenningskoeffisienten φ til 0.01 (0 - 0.1).

Tabell 4 Avrenningskoeffisienter for grønne tak, fra (VA/Miljøblad, 2013)

Manningtall:

Fra kildene:

- Engman: 1.25 – 2.0 (dense underbrush, light underbrush)
- SWMM: 12.5 (shrubs and bushes)

Vi setter M til 5 (1.2 -15).

3.2.7 Grønne tak

Responser til grønne tak avhenger sterkt av i hvor stor grad de er forhåndsmettet, og dermed av dybden av dekket (et grunt tak vil bli fortere mettet og dermed også oftere være mettet. I verktøyet opereres det med tre klasser i henhold til innde-

lingen i «Blågrønn faktor» (Oslo kommune; Bærum kommune, 2014), vegetasjonsdybde 2 - 39 cm dybde, 40 – 79 cm og 80 cm og over. Det skal nevnes at i andre sammenhenger, f. eks. (Miljødirektoratet, 2016) og (Noreng, et al., 2012) opereres med en annen inndeling: ekstensive tak 2-10 cm dybde, semi-intensive 10 – 20 cm og intensive tak 20 cm og over.

VA/Miljøblad (VA/Miljøblad, 2013) angir avrenningskoeffisienter for tak. Disse er hentet fra en tidligere versjon av «Guidelines for Green Roofs» (FLL, 2018) og er volumetriske avrenningskoeffisienter φ . «Guidelines for Green Roofs» angir også avrenningskoeffisienter c. Disse er høyere enn φ for tynne dekker, men like eller lave for tykke dekker. Rapporten tilskriver det at vinterforholdene får større vekt i φ enn i c. Under vinterforhold er evapotranspirasjonen fra dekket mye lavere enn om sommeren. Den svenske Grönhandbokens Vägledning har avrenningskoeffisienter for forskjellige tykkelser og takhelninger

Beplantning	Tykkelse på vekstlag, mm	Avrenningskoeffisient
Mose og bergknapp	20 - 40	0,60
Mose, bergknapp og andre mindre planter	60 - 100	0,50
Gress og mindre planter	150 - 200	0,40
Gressplen og større planter / mindre trær	> 500 mm	0,10

(Grönthandboken, 2017), gjengitt i Tabell 5. Disse er tatt fra (FLL, 2018), men har feil takhelning, skal være mindre eller større enn 5 grader, ikke 15 grader.

NVE Rapport 65/2014 (Braskerud B. C., 2014) finner en avrenningskoeffisient (c) på 0.75 for ekstensive (tynne) grønne tak, sedumtak med tykkelse 3 cm og fall 5°. Dette er i overensstemmelse med Grönthandboken og FLL.

Tabell 5 Avrenningskoeffisienter c for grønne tak med forskjellig tykkelse og helning, fra Grönthandboken

Djup	15° lutning Avrenningskoeffisient (c)	>15° lutning Avrenningskoeffisient (c)
>50 cm	0,1	-
25-50 cm	0,2	-
15-25 cm	0,3	-
10-15 cm	0,4	0,5
6-10 cm	0,5	0,6
4-6 cm	0,6	0,7
2-4 cm	0,7	0,8

Det er ikke urimelig å anta at grønne tak med dybde 40 cm og mer har omtrent samme respons som permeable flater, plen. På bakgrunn av dette setter vi følgende avrenningskoeffisienter:

- 3 - 39 cm: c lik 0.4 (0.3 – 0.8)
- φ lik 0.3 (0.2 – 0.6).
- 40 -79 cm: c lik 0.3 (0.1 – 0.3)
- φ lik 0.1 (0.1 -0.4).
- 80 cm og over: c lik 0.2 (0.05 – 0.5) φ lik 0.1 (0.01 – 0.1).

Manningtall:

Hastigheten til vannet blir ikke mye påvirket av dybden av dekket. Vi bruker samme verdi som for plen: M lik 10 (7 – 30).

3.2.8 Regnbed

Regnbed må forventes å kunne håndtere det meste av nedbøren som føres dit bortsett fra de aller sterkeste regnskyllene. Den begrensende faktoren er først og fremst hvor stort areal flater som kan tilføres, og dette håndteres med begrensninger i krysskoblingene fra andre delarealer, i henhold til (Braskerud & Paus, 2013). Den rasjonale formel er altså ikke særlig egnet for å beskrive funksjonen til regnbed. Vi har satt følgende parametre: c lik 0.05 (0.01 – 0.2), φ lik 0.01 (0.01 -0.1). Det er ikke snakk om vannstrøm på overflaten, så Manningtall er ikke aktuelt.

3.2.9 Terrengforsenkning

For terrengforsenkning gjelder det samme som regnbed. Vi har her antatt at terrengforsenkning er noe mindre effektivt enn regnbed, c lik 0.1 (0.01 – 0.3), φ lik 0.02 (0.01 – 0.2).

3.2.10 Vadi

Funksjonen til vadi (grøfter med infiltrasjon, bioswales) er først og fremst å transportere vann, og infiltrasjonen vil være mindre enn en tilsvarende plenflate dersom det ikke er gjort spesielle tiltak for å øke infiltrasjonen, siden vannflaten blir mindre i forhold til volumet, og hastigheten større. Vi har satt avrenningskoeffisientene lik delvis åpne flater c lik 0.6 (0.4 –

0.8), φ lik 0.4 (0.2 – 0.6). Manningtall er hentet fra Ven Te Chows klassiker Open-channel hydraulics (Chow, 1959): Excavated channel, earth, straight, uniform, with grass: $M = 37$ (25 – 50).

3.2.11 Oppsummering

Tabell 2 oppsummerer forslag til avrenningskoeffisienter og Manningtall, med variasjonsområder.

Tabell 6 Oppsummering av avrenningsparametere

Arealtype	Avrenningskoeffisient c		Avrenningskoeffisient φ		Manningtall	
	Typisk	Intervall	Typisk	Intervall	Typisk	Intervall
Tak	0.95	0.8 – 1.0	0.8	0.5 – 0.9	90	70 - 100
Tette flater	0.85	0.7 – 1.0	0.6	0.5 - 0.8	90	70 - 100
Tette flater, trekroner	0.7	0.6 – 0.8	0.5	0.4 – 0.6	90	70 - 100
Delvis åpne flater	0.6	0.3 – 0.8	0.4	0.2 – 0.6	50	35 - 85
Permeable flater	0.1	0.01 – 0.5	0.02	0.0 – 0.1	10	1.2 - 15
Skog	0.1	0.01 – 0.5	0.01	0.0 – 0.1	5	1.2 - 15
Grønne tak 2-39 cm	0.4	0.3 – 0.8	0.3	0.2 – 0.6	10	7 - 30
Grønne tak 40-79 cm	0.3	0.2 – 0.6	0.2	0.1 – 0.4	10	7 - 30
Grønne tak >80 cm	0.2	0.1 – 0.4	0.05	0.01 – 0.1	10	7 - 30
Regnbed	0.05	0.01 – 0.2	0.01	0.01 – 0.1		
Terrengforsenkning	0.1	0.01 – 0.3	0.02	0.02 – 0.2		
Vadi	0.6	0.4 – 0.8	0.4	0.2 – 0.6	37	25 - 50

3.3 Justering av volumavrenningskoeffisient ut fra topografi

I oppsettet er volumet av overflateavrenningen (mm/år) bare estimert som årsnedbør multiplisert med volumavrenningskoeffisienten φ . Det innebærer at overflateavrenningen bare blir en funksjon av årsnedbør, φ , arealtypefordeling og koblingen mellom arealer. Topografiske parametere som tilrenningslengde og skråning er ikke egne parametere, selv om de utvilsomt har betydning. Topografien påvirker hvor lang tid vann på overflaten har til å infiltrere før det når sluk eller bekk. Vi har innført en korleksjon på volumavrenningskoeffisienten på grunnlag av skråning og terrenglengde for å kompensere for dette. Det skal understrekes at dette er ren vurdering – det er lite litteratur på dette, og beregninger må eventuelt basere seg på kontinuerlig simulering gjennom året på forskjellige typeterreng. Dette vil ha et omfang som ligger utenfor dette prosjektet.

Metoden er som følger:

- De oppgitte volumavrenningskoeffisientene er antatt å gjelde for typearealer som angitt i Tabell 5.
- Det beregnes en konsentrasjonstid for disse typearealene på samme måte som for de «sanne» flatene, T_{cstd}

- Volumavrenningskoeffisienten justeres ut fra forholdet mellom konsentrasjonstidene med formel [11], avgrenset til intervallet (0.01 – 1.0)

$$\varphi_{akt} = \varphi_{std} \left(1 + \log \frac{T_{cstd}}{T_{cakt}}\right) \quad [11]$$

Subskript *std* angir her verdier for typearealene og *akt* de reelle arealene.

Tabell 7 Standard parametre for flatetyper

Arealtype	Lengde m	Helning
Tak	5	0.1
Tette flater	20	0.05
Tette flater, trekroner	20	0.05
Delvis åpne flater	20	0.05
Permeable flater	20	0.05
Grønne tak 2-39 cm	5	0.05
Grønne tak 40-79 cm	5	0.05
Grønne tak >80 cm	5	0.05
Vadi	20	0.05

3.4 IVF-kurver for vilkårlige sted

I NIFS-prosjektet (Naturfare: Infrastruktur - Flom – Skred, NVE, Statens Vegvesen, Jernbaneverket) ble det etablert regionale IVF-kurver for Norge (Førland, Mamen, Dyrddal, Grinde, & Myrabø, 2015). Disse kurvene er bare utarbeidet for 200 års gjentaksintervall (A.V. Dyrddal, per. med. 2020-02-06). Dette arbeidet er blitt videreført av Norsk klimaservicesenter, og det er dermed to muligheter for å finne IVF-kurver for et vilkårlig punkt i Norge. Den ene de regionale kurvene for 200 års gjentaksintervall (Førland & Dyrddal, 2018), den andre er en interpolasjon fra 133 kortidsnedbørstasjoner til 1x1 km grid med Bayesiansk modell-midling (BMA – Bayesian Model Averaging) (Dyrddal & Førland, 2018). Resultatet er IVF-kurver fra 1 minutt til et døgn og fra 2 til 200 års gjentaksintervall for hele fastlandet. Disse, sammen med kurvene for nedbørstasjonene nås gjennom et kartgrensesnitt på:

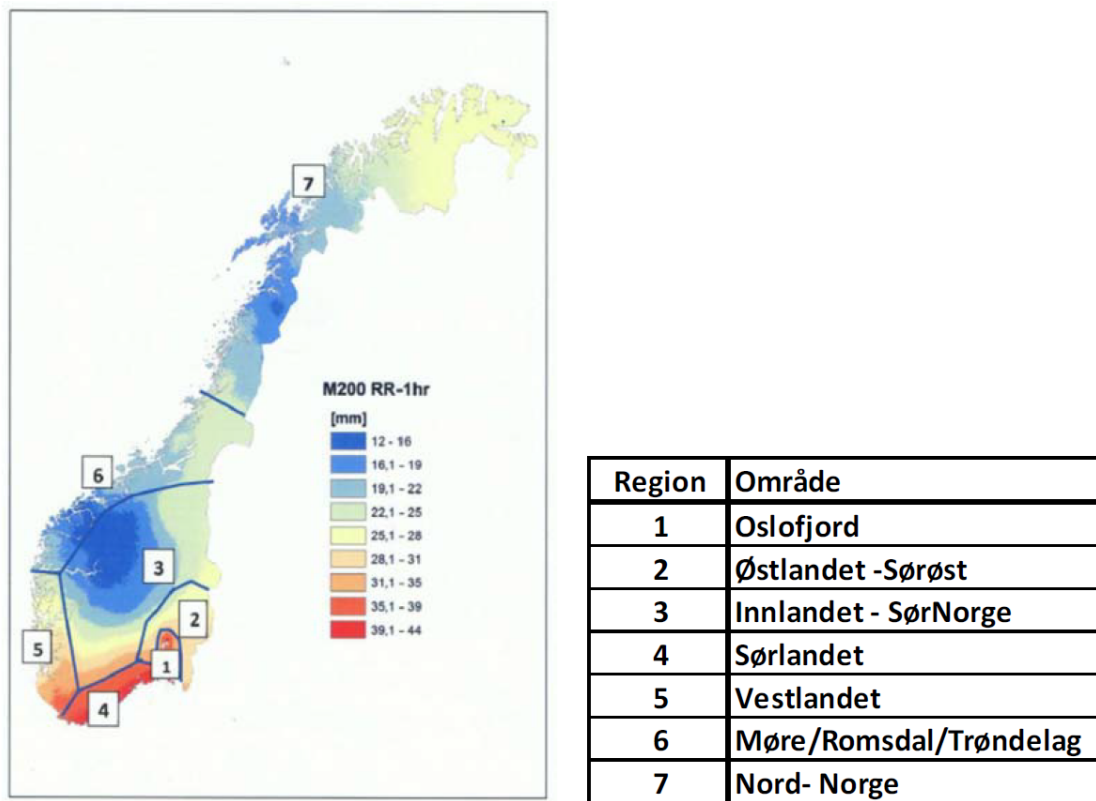
<https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/idf.xhtml>

IVF-kurvene kan lastes ned som grafer og tabeller (.csv og .ods), og kan dermed lett flyttes inn i verktøyet for overflateavrenning. Imidlertid advarer Norsk klimaservicesenter om at IVF-verktøyet ikke er konsistent med IVF-kurvene for enkeltstasjoner og ikke anbefales brukt til dimensjonering ennå.

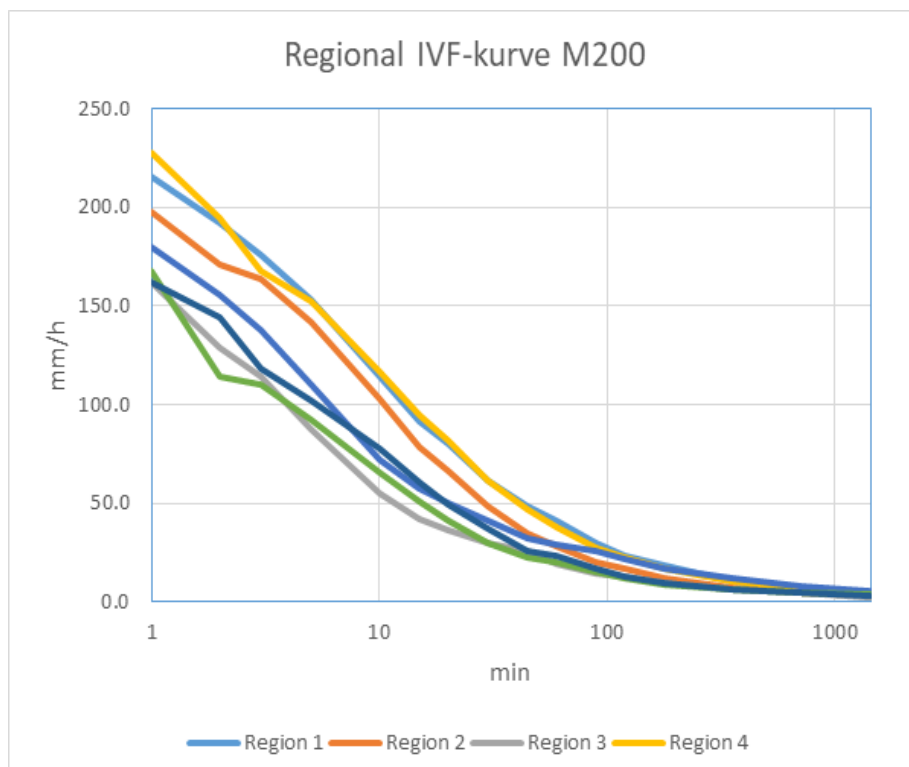
3.4.1 Implementering av regionale IVF-kurver

Vi har så langt implementert de regionale kurvene i verktøyet. Figur 3 viser regioninndelingen (Førland, Mamen, Dyrddal, Grinde, & Myrabø, 2015), tegnet inn på kart som viser

200 års nedbør med en times varighet. Figur 4, basert på samme kilde, viser IVF-kurvene for de sju regionene. Tabell 8 viser parametere for IVF-kurvene (bare 200 års gjentaksintervall) for tilsvarende parametrisering som tabell 3 viser for Blindern.



Figur 4 Regioninndeling for IVF-kurver. Fra Førland m.fl. 2015



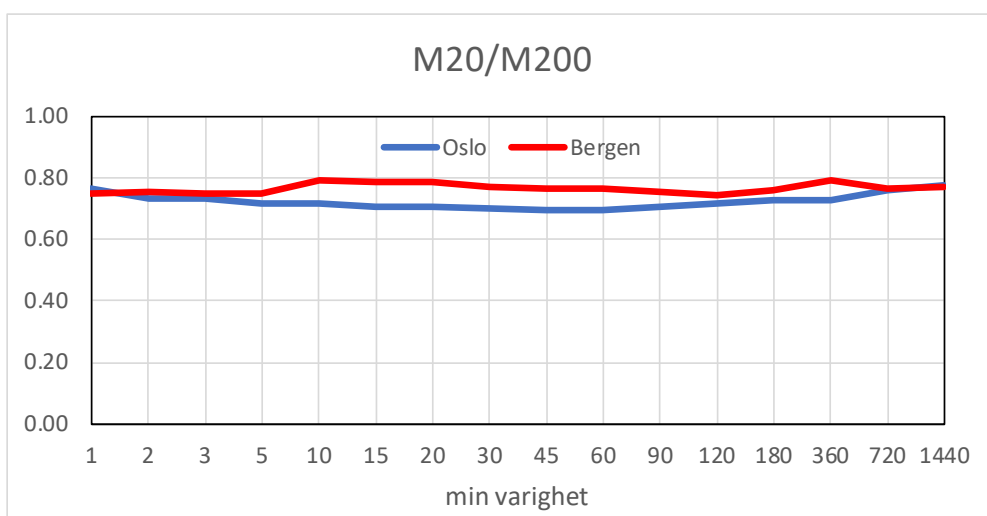
Figur 3 Regionale IVF-kurver. Basert på data i Førland m.fl. 2015

Tabell 8 Parametrisering av de regionale IVF-kurvene for 200 års gjentaksintervall

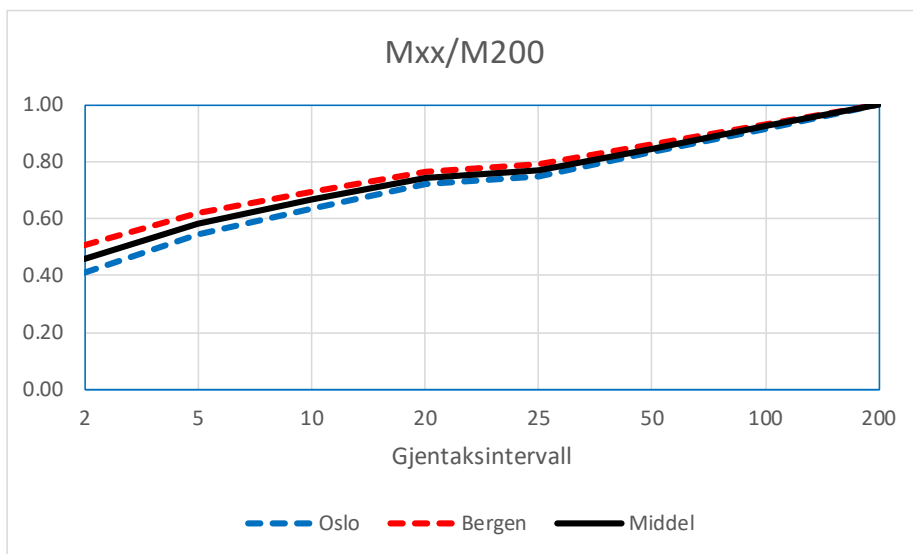
Region	m1 <5 min	n1 <5 min	m2 5 - 45 min	n2 5 - 45 min	m3 > 45 min	n3 > 45 min
1	218.8	0.210	371.8	0.525	944.9	0.714
2	198.6	0.201	433.3	0.646	445.0	0.687
3	165.2	0.374	206.3	0.567	295.8	0.606
4	228.7	0.258	389.7	0.540	567.7	0.670
5	185.5	0.299	261.0	0.549	261.9	0.530
6	160.3	0.359	280.1	0.651	157.6	0.528
7	166.6	0.297	305.6	0.623	319.2	0.658

Siden vi bare har kurvene for 200 års gjentaksintervall tilgjengelig fra kildene, setter vi opp justeringsfaktorer til andre frekvenser. Vi har sammenlignet IVF-kurvene for Oslo og Bergen, og finner at forskjellen ikke er dramatisk, og at forholdstallet varierer noe med varigheten, men heller ikke veldig mye (figur 5). Vi arbeider derfor ut fra den antakelse at vi kan bruke et og samme forholdstall for alle varigheter og regioner, og at middelverdien av forholdstallene for Oslo og Bergen er en brukbar tilnærming. Det understrekes at dette ikke er verifisert ut over det som er vist her.

Figur 6 viser forholdstall for forskjellige gjentaksintervall for Oslo og Bergen, samt middelverdi mellom de to, midlet over alle varigheter. Tabell 9 viser forholdstallene numerisk, som benyttet i verktøyet.



Figur 5 Forholdet mellom intensitet med 20 års og 200 års gjentaksintervall for ulike varigheter for Oslo(Blindern) og Bergen (Sandslø)



Figur 6 Forholdstall mellom IVF-kurver ulike gjentaksintervall og 200 års kurve, midlet over alle varigheter

Tabell 9 Midlere forholdstall tabulert

Gjentaksintervall	2	5	10	20	25	50	100	200
Forholdstall	0.46	0.58	0.67	0.75	0.77	0.85	0.92	1.00

4 Oppsummering, veien videre

Intensjonen bak utviklingen av modellen er å etablere et verktøy som gir et overslag på overvannsproduksjon i urbane felt på tomtenivå og effekten av LOD-tiltak med et minimum av inngangsdata – nedbørstatistikk, arealer og arealbruk, samt feltlengde og felthelning. Vassdragelementer er ikke inkludert.

Verktøyet/modellen er operativ. Det mangler imidlertid verifikasjon. Det finnes dessverre lite data som egner seg til dette formålet. Ved Institutt for Geofag har en masteroppgave (Ellen Birgitte Folgerø, ferdig våsemesteret 2020) fokus på dette. Vi bruker data fra forsøksfeltet Vestli i Oslo hvor Storm Water Management Model (SWMM) tilpasses, og så sammenlignes SWMM og den foreliggende modellen for utvalgte delfelt, både for reelle nedbørtilfeller og modellregn, samt for totalavrenning.

Metoden for beregning av totalavrenning trenger ytterligere verifikasjon og forbedring. Det gjelder først og fremst håndtering av vinterforhold. Det ville også være ønskelig å ha en mer vannbalanseorientert tilnærming – dette ville gi en bedre representasjon av vegetasjonens betydning, men vil også kreve nye inngangsdata, særlig hyppighet av nedbørtilfelle.

Implementasjonen av regionale IVF-kurver trenger ytterligere verifisering, både metode og forholdstallene for justering fra 200 års gjentakintervall til andre gjentakintervall.

Det vil være ønskelig å implementere de interpolerte IVF-kurvene for punkt i verktøyet. Da må imidlertid parametriseringen av kurvene automatiseres – nå er dette en manuell operasjon.

Referanser

- ASCE. (1992). *Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems. ASCE Manuals and Reports of Engineering Practice No. 77*. New York: American Society of Civil Engineers.
- Berg, A., Lunde, T., & Mosevoll, G. (1992). *Flomberegning og kulvertdimensjonering*. Trondheim: SINTEF.
- Braskerud, B. C. (2014). *Grønne tak og styrtregn*. Oslo: Norges vassdrags og energiverk, Rapport nr 65/2014.
- Braskerud, B. C., & Paus, K. H. (2013). *Regnbed, flomdempning i små urbane nedbørfelt*. ExFlood.
- Bøyum, Å. (1981). *Grunnkurs i VAR-TEKNIKK II*. Trondheim: Institutt for vassbygging, NTH.
- Chow, V. T. (1959). *Open-channel hydraulics*. New York: McGraw-Hill.
- COWI. (2015). *Gjennomgang av avrenningskoeffisienter*. Oslo: Miljødirektoratet.
- Crawford, N. H., & Linsley, R. (1966). *Digital Simulation in Hydrology: Stanford Watershed Model IV*. Civil Engineering Department. Palo Alto: Stanford University.
- Dooge, J. C. (1974). The development of hydrological concepts in Britain and Ireland between 1674 and 1874. *Hydrological Sciences Bulletin, Vol 19*, 279-302.
- Dyrrdal, A. V., & Førland, E. J. (2018). 5.1 The Intensity-Duration-Frequency (IDF) tool – combining point and grid estimates. I A. Sorteberg, D. Lawrence, A. V. Dyrrdal, S. Mayer, & K. Engeland, *Climatic changes in short duration extreme precipitation and rapid onset flooding - implications for design values*. Oslo: Norsk Klimaservicesenter, NCCS Report 1/2018.
- Eagleson, P. S. (1970). *Dynamic Hydrology*. New York: McGraw Hill.
- Engman, E. T. (1986). Roughness Coefficients for Routing Surface Runoff. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*, 39-53.
- Fergus, T., Hoseth, K. A., & Sæterbø, E. (2010). *Vassdragshåndboka. Håndbok i vassdragsteknikk*. Trondheim: Tapir akademiske forlag.
- FLL. (2018). *Green Roof Guidelines - Guidelines for the Planning, Construction, and Maintenance of Green Roofs*. Bonn: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.
- Folgerø, E. B. (2020). *Storm Water Management Model (SWMM) and the REO model. An Urban Hydrology Study. Vestli hydrometric station, Oslo*. Oslo: Master thesis, Department of Geosciences, University of Oslo.
- Froelich, D. (2011). NRCS Overland Flow Travel Time Calculation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 258-262.
- Førland, E. J., & Dyrrdal, A. V. (2018). 2.3 Regionalization of rainfall return values for single sites in Norway. I A. Sorteberg, D. Lawrence, A. V. Dyrrdal, S. Mayer, & K. Engeland, *Climatic changes in short duration extreme precipitation and rapid onset flooding - implications for design values*. Oslo: Norsk klimaservicesenter, NCCS report 1/2018.
- Førland, E. J., Mamen, J., Dyrrdal, A. V., Grinde, L., & Myrabø, S. (2015). *Dimensjonerende korttidsnedbør*. Oslo: Meteorologisk institutt; NVE.
- Gabriel, S., & Fiil, L. (2016). *Vadi - byens grønne vannveier*. Oslo kommune, Blågrønne overvannsløsninger.
- Grönthandboken. (2017). *Vägledning - Kvalitetssäkrade systemlösningar för gröna anläggningar/tak*. Hentet fra <https://gronatakhandboken.se/>
- Lindholm, O., Endresen, S., Smith, Tønder, B., & Thorolfsson, S. (2012). *Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem*. Norsk Vann. Hamar: Norsk Vann.
- Magnussen, K., Wingstedt, A., Rasmussen, I., & Reinvang, R. (2015). *Kostnader og nytte ved overvannstiltak*. Oslo: Vista Analyse.
- Miljødirektoratet. (2016). *Vegetasjon til grønne tak. Faktaark M627 -2016*. Trondheim: Miljødirektoratet, NIBIO.

- Molen, W. v., Torfs, P., & Lima, J. d. (1995). Water depths at the upper boundary for overland flow at low gradients. *Journal of Hydrology*, 93-102.
- Mulvaney, T. J. (1851). On the use of self-registering rain and flood gauges in making observations of the relations of rain fall and flood discharges in a given catchment. *Transactions of the Institution of Civil Engineers of Ireland*, Vol. IV, pt. II, 18-33.
- Myrabø, S. (1991). *Flomberegning*. Oslo: NVE, Oppdragsrapport 8 - 91.
- Noreng, K., Kvalvil, M., Busklein, J. O., Ødegård, I. M., Clewing, C. S., & French, H. K. (2012). *Grønne tak, en kunnskapsinnhentning. Prosjektrapport 104-2012*. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Norsk Standard. (2017). *NS-EN 752:2017 Utendørs avløpssystemer - Forvaltning av avløpssystemer*. Oslo: Standard Norge.
- Oslo kommune. (2017). *Overvannshåndtering - Veileder for utbygger*. Oslo: Oslo kommune.
- Oslo kommune; Bærum kommune. (2014). *Blågrønn faktor - Veileder i byggesak*. Oslo og Bærum kommuner.
- Rossman, L. A., & Huber, W. C. (2016). *Storm Water Management Model Reference Manual Volume I – Hydrology*. Cincinnati: US EPA.
- Statens vegvesen. (2014). *Håndbok N200 Vegbygging*. Vegdirektoratet.
- Stenius, S., Glad, P. A., Wang, T. K., & Væringstad, T. (2015). *Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt*. Oslo: NVE.
- STF. (1979). *SFT TA-550 Veiledning ved dimensjonering av avløpsledninger*. Oslo: SFT.
- Svenskt Vatten. (2004). *Dimensionering av allmänna avloppsledningar P90*. Bromma: Svenskt Vatten.
- USDA. (2010). *Time of concentration. Part 630 Hydrology, National Engineering Handbook Chpt 15*. United States Department of Agriculture, National Resources Conservation Service.
- VA/Miljø-blad. (2013). Nr 107 Grønne tak. *Grønne tak*. Stiftelsen VA/Miljø-blad.
- Westphal, J. A. (2001). Hydrology for System Design and Analysis. I L. W. Mays, *Stormwater Collection Systems Design Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Yen, B. C. (2001). Hydraulics of Sewer Systems. I L. W. Mays, *Stormwater Collection Systems Design Handbook*. New York: McGraw-Hill.

Vedlegg – Inngangsdata og resultatpresentasjon

Grensesnittet i Excel-versjonen av verktøyet er beskrevet i det følgende.

Inngangsdata

Gjentaksintervall år:	20	OBSERVERT AREALBRUK (LC)					LOD TILTAK					
	Årsnedbør, mm:	800	Tak (T)	Tette flater (I)	Trekroner & tette flater (K)	Perm. flater, gress (P)	Trekroner & permeable flater (S)	Delvis åpne flater (H)	Grønne tak (G)	Regnbed (R)	Terrengforsenkning (F)	Wadi (W)
IVF-region, jfr Førland et al 2015	7											
Dybde	cm							2 - 39 cm				
Areal	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Areal (_areal)	[m2]											
Lengde (_lengde)	[m]	100	100	100	100	100	100	100				100
Helning (fall/lengde) (_helning)	[1]	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01				0.01
Avrenningskoeff. rasjonale formel (_coeff)	[0-1]	0.95	0.85	0.80	0.30	0.20	0.60	0.60	0.05	0.10		0.60
Manningstall		90	90	90	10	5	50	10				37
Årlig volumetrisk avrenningskoeff (V_coeff)	[0-1]	0.80	0.60	0.50	0.01	0.01	0.11	0.40	0.01	0.02		0.10
Kobling til nett (DCIA)	[0-1]	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1
Kobling til tette flater (I)	[0-1]	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Kobling til delvis åpne flater (H)	[0-1]	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Kobling til plen (P)	[0-1]	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Kobling til skog (S)	[0-1]	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Kobling til regnbed (R)	[0-1]	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Kobling til terrengforsenkning (F)	[0-1]	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Kobling til wadi (W)	[0-1]	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Bortkoblet (B) bekk osv)	[0-1]	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0

Figur 7 Matrisen for inngangsdata

I beregningene antas feltet sammensatt av delarealer med forskjellig arealbruk. Følgende typer arealbruk er implementert:

- Takflater
- Tette flater
- Trekroner over tette flater
- Permeable flater, gress
- Trekroner over permeable flater
- Delvis åpne flater – vanligvis bærende flater som er belagt med tanke på av overflatevann kan infiltrere
- Grønne tak – en av tre dybder kan velges via nedtrekksmeny: 2-39 cm, 40-79 cm, 80 cm og over
- Regnbed
- Terrengforsenkning som kan lagre vann midlertidig
- Vadi – grøfter med infiltrasjon

Delarealene representeres som et hellende rektangel, og er dermed karakterisert ved et horisontalt areal i m², en lengde langsmed helningsretningen i m, og en helning (dimensjonsløst - tangens helningsvinkelen). Regnbed og terrengforsenkning er bare karakterisert ved areal.

Figur 7 viser matrisen for inngangsdata. Den har følgende hovedgrupper:

- Eksterne data: Valg av gjentaksintervall beregningen skal utføre for, årsnedbør og IVF-region som feltet tilhører.

- Topografiske data: Arealer i m², representativ lengde frå øvre del av delarealet, og helning.
- Koblinger: Kobling til nett og direkte kobling til resipient. Interne koblinger i delfeltet.

I tillegg vises standard avrenningsparametre for delarealene: Avrenningskoeffisient, Manningtall og volumetrisk avrenningskoeffisient. Disse skal normalt ikkje endres.

Eksterne data

Figur 8 viser feltene for eksterne data. Gjentakintervall velges fra nedtrekksmeny.

Årsnedbør for enkeltstasjoner finnes på Meteorologisk institutts eKlima-portal.

<http://eklima.no>. Normalkart

for Norge finnes på hjemmesidene til Norsk klimaservicesenter, <https://klimaservicesenter.no>. Disse er rettnok ikke særlig detaljerte. Finnes det et representativt nedbørfelt i nærheten kan NVEs vannbalanseverktøy Nevina benyttes (<http://nevina.nve.no>). Dersom man her genererer nedbørfeltet til et vassdragspunkt finnes normalnedbøren for feltet i oversikten over feltparametere for feltet. Feltet bør være lite for ikke å få med områder med andre nedbørforhold.

IVF-regionene velges fra nedtrekksmeny på grunnlag av kart her (figur 3), hentet fra (Førland & Dyrddal, 2018).

Gjentaksintervall år:	20
Årsnedbør, mm:	800
IVF-region, jfr Førland et al 2015	7

Figur 8 Inndatafeltene for eksterne data

Topografiske data

		Tak (T)	Tette flater (I)	Trekroner & tette flater (K)	Perm. flater, gress (P)	Trekroner & permeable flater (S)	Delvis åpne flater (H)	Grønne tak (G)	Regnbed (R)	Terrengforsenk. (F)	Vadi (W)
Dybde	cm							2 - 39 cm			
Areal	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Areal (_areal)	[m2]										
Lengde (_lengde)	[m]	100	100	100	100	100	100	100			100
Helning (fall/lengde) (_helning)	[1]	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01			0.01

Figur 9 Inngangsdata for beskrivelse av delareal-geometrien

Figur 9 viser feltene for de tre topografiske parametrene areal, lengde og helning, altså delarealenes geometri. Verdt å merke seg her er at regnbed og terrengforsenkning bare har areal, ikke lengde og helning. De forskjellige dybdene for grønne tak velges fra nedtrekksmenyen. Den første areal-raden viser automatisk arealet for det aktuelle delfeltet i prosent av totalarealet. Tallene som er lagt i feltene er helt tilfeldige. Arealtypen som ikke har areal eller areal lik null tas ikke med i beregningene.

Koblinger

		Tak (T)	Tette flater (I)	Trekroner & tette flater (K)	Perm. flater, gress (P)	Trekroner & permeable flater (S)	Delvis åpne flater (H)	Grønne tak (G)	Regnbed (R)	Terrengforsenk. (F)	Vadi (W)
Kobling til nett (DCIA)	[0-1]	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Kobling til tette flater (I)	[0-1]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kobling til delvis åpne flater (H)	[0-1]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kobling til plen (P)	[0-1]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kobling til skog (S)	[0-1]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kobling til regnbed (R)	[0-1]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kobling til terrengforsenkning (F)	[0-1]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kobling til wadi (W)	[0-1]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bortkoblet (B) bekk osv)	[0-1]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figur 10 Matrise for krysskobling av overvann mellom delarealene

Overvann kan overføres mellom delarealene ved hjelp av krysskoblingsmatrisen, figur 10. I utgangspunktet er alt koblet til overvannsnett (1 i første rad). Tallet i det aktuelle feltet angir andelen av produsert og innkommende vann som overføres – 0 til 1. Modellen reduserer selv vann til nettet når noe overføres. Det kan maksimalt overføres to ganger før vannet fra siste ledd går ut av feltet og havner i nett eller bekk.

Det er satt følgende begrensninger på overføringene:

- Tak, tette flater og tette flater med kroner til permeable flater, plen og skog: Maksimal arealandel er arealet til mottakende flate.
- Tak, tette flater og tette flater med kroner til delvis åpne flater: Maksimal arealandel er halvparten av arealet til mottakende flate.
- Delvis åpne flater til permeable flater, plen og skog: Maksimal arealandel er to ganger arealet til mottakende flate.
- Tak, tette flater og tette flater med kroner til regnbed: Maksimal arealandel er 14 ganger arealet til regnbedet..
- Delvis åpne flater til regnbed: Maksimal arealandel er 28 ganger arealet til regnbedet.
- Tak, tette flater og tette flater med kroner til terrengforsenkning: Maksimal arealandel er 10 ganger arealet til terrengforsenkning.
- Delvis åpne flater til terrengforsenkning: Maksimal arealandel er 20 ganger arealet til terrengforsenkningen.

Av naturlige grunner kan ingen delarealer overføres til takflater.

Resultatpresentasjon

De sentrale resultatene er to tall: Maksimalt avrenning til nettet i liter pr sekund, og totalavrenning til nettet i m³ pr år. Dessuten presenteres bidrag fra hvert av delarealene, og konsentrasjonstiden (responstid) for delarealene, samt estimert tid til kulminasjon.

Bidrag til nettet, l/s (_dir)	0.0
Totalt til nettet, m3/år (_Vdir)	0

Figur 11 Nøkkeltallene fra beregningen

I tillegg presenteres volumeffekten av et 60 min regn med samme gjentaksintervall: mm nedbør, mm og m³ overvannsproduksjon og samlet avrenningskoeffisient. Her er avrenningskoeffisient c brukt for delarealene, ikke volumsavrenningskoeffisienten φ .

Et regneeksempel

Vi antar at en tomt på 1000 m², bredde 40 m og dybde 25 m med fall 3% langs lengdeaksen bebygges med en enebolig på 20x12 m og en garasje på 5x6 m, begge med saltak med fall 15%. Asfaltert oppkjørsel og parkeringsplass på 15x6 m. Resten av tomta, 640 m² er hage. Tomta var opphavelig beiteland. Regionen er Oslofjordområdet, årsnedbør 1000 mm, og vi ser på gjentaksintervall 20 år. Vi bruker de regionale IVF-kurvene (ikke Blindern IVF).

Før utbygging

Representasjonen av feltet er permeabel flate med areal 1000 m², lengde 25 m og helning 0.03.

Overvannsproduksjonen ved et regn med gjentaksintervall 20 år blir 1.8 l/s etter 17 minutter. Total overflateavrenning blir 42 m³/år.

Etter utbygging

Feltet representeres av tre flater:

- Takflater: Areal 270 m², lengde 6 m, helning 0.15, koblet til nett.
- Tette flater: Areal 90 m², lengde 15 m, helning 0.03, koblet til nett
- Hage: Areal 640 m², lengde 19 m, helning 0.03, koblet til nett

Overvannsproduksjonen ved et regn med gjentaksintervall 20 år blir 15.4

l/s etter 1 minutt (avrenning fra takflatene dominerer). Total overflateavrenning blir 300 m³/år.

Etter tiltak

Overvannsavrenningen reduseres ved å frakoble takflatene (til hage), og erstatte asfaltert oppkjørsel med åpen belegningsstein:

- Takflater: Areal 270 m², lengde 6 m, helning 0.15, koblet til hage.
- Halvtette flater: Areal 90 m², lengde 15 m, helning 0.03, koblet til nett
- Hage: Areal 640 m², lengde 19 m, helning 0.03, koblet til nett

Overvannsproduksjonen ved et regn med gjentaksintervall 20 år blir 3.8 l/s etter 13.5 minutter. Total overflateavrenning blir 74 m³/år.

Som et ytterligere tiltak kobles oppkjørsel til et regnbed på 5 m². Det senker maksimalavrenningen til 2.5 l/s og årsavrenningen til 40 m³/s.

Norsk institutt for naturforskning, NINA, er en uavhengig stiftelse som forsker på natur og samspillet natur–samfunn.

NINA ble etablert i 1988. Hovedkontoret er i Trondheim, med avdelingskontorer i Tromsø, Lillehammer, Bergen og Oslo. I tillegg driver NINA Sæterfjellet avlsstasjon for fjellrev på Oppdal, og forskningsstasjonen for vill laksefisk på lms i Rogaland.

NINAs virksomhet omfatter både forskning og utredning, miljøovervåking, rådgivning og evaluering. NINA har stor bredde i kompetanse og erfaring med både naturvitere og samfunnsvitere i staben. Vi har kunnskap om artene, naturtypene, samfunnets bruk av naturen og sammenhenger med de store drivkreftene i naturen.

ISSN:1504-3312
ISBN: 978-82-426-4723-8

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim

Besøks-/leveringsadresse: Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01

E-post: firmapost@nina.no

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>



Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger