

Gresskledde vannveger i norsk klima

Tore Leland

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2013

Hovedveileder: Sveinn T Thorolfsson, IVM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for vann- og miljøteknikk

Masteroppgave

Overvannshåndtering

2013

Masterstudent: Tore Leland

Tittel: Gresskledd vannveger i norsk klima (Eng: Grassed Swales in Norwegian Climate)

Introduksjon

Urbanisering og gjentetting av flater påvirker miljøet vårt i form av økt forurensning og økte overvannsmengder som må håndteres. Konvensjonell håndtering av overvann har vist seg å verken å være særlig bærekraftig eller tilpasset norsk klima. Hvert år registreres det betydelige mengder overløpsutslipp, urbane flommer, kjelleroversvømmelser og spredning av forurensning. I tillegg forventes det, som følge av klimaendringer, at intensiteten på nedbør og frekvensen av ekstremvær vil øke i Norge i fremtiden. Mer nedbør vil medføre økt overvannsvolum, høyere flomtopper og spredning av forurensning, og derfor ytterligere legge press på en infrastruktur som allerede i dag svikter.

For å imøtekomme dagens og fremtidens utfordringer har man i stadig større grad begynt å ta i bruk metoder for overvannshåndtering der vannet håndteres og behandles lokalt ved kilden. Med en slik håndtering vil vannet forbli i området og man ivaretar/gjenopptar i større grad det naturlige hydrologiske kretsløpet som rådet før urbaniseringen. Ved å forsinke transporten og fordrøye overvann som ikke håndteres lokalt, reduserer man avrenningstoppen til nedenforliggende ledning, vassdrag eller område. Gresskledd vannveger er en forsenkning i terrenget for åpen bortledning av overvann som også gir muligheter til å infiltrere, forsinke, og fordrøye underveis. Gresskledd vannveger kan brukes som flomveg (avløpsveg) i et område. I tillegg vil naturlige biologiske, kjemiske og fysiske prosesser i den gresskledd vannvegen tilbakeholde forurensninger og sådan også heve kvaliteten på vannet.

På grunn av manglende erfaringer og klare retningslinjer for planlegging og utforming av gresskledd vannveger i Norge er bruken av tiltaket lite utbredt og det er en viss skepsis rundt ytelsen. For å øke utbredelsen av gresskledd vannveger i Norge er det derfor nødvendig å undersøke. Det er imidlertid gjort en del forskning på området, blant annet i Sverige. Også i Canada og Nord-USA, har det foregått en del forskning. På Island er et nyere utbyggingsområde, rundt den sårbare innsjøen, Urridavatn, utbygd med gresskledd vannveger, et område man bør søke å trekke erfaringer fra.

Oppgavemål

- Mål 1: Litteraturgjennomgang. Kandidaten skal gjøre seg kjent med gjeldende litteratur på fagfeltet. Herunder, de tema og parametere som er aktuelle for å beskrive vannets veg gjennom den gresskledd vannvegen og nedbørsfeltet for øvrig.
- Mål 2: Utarbeide et forslag til en veileder for planlegging og utforming av gresskledd vannveger i norsk klima.
- Mål 3: Lage en modell for å beregne vannføringen og infiltrasjonen i en gresskledd vannveg.
- Mål 4: Skrive en artikkel til Kommunalteknikk om bruk av gresskledd vannveger.
- Mål 5: Bidra til Exflood-prosjektet ved å skrive et faktaark om gresskledd vannveger

Organisering, veiledning og samarbeid

Studentprosjektet vil bli utført ved Institutt for vann- og miljøteknikk, NTNU. Veileder er Sveinn T. Thorolfsson.

Innleveringsfrist

Innleveringsfrist: 10.06.2012

Institutt for Vann- og Miljøteknikk, NTNU

Forord

Masteroppgaven (TVM 4905 Vannforsynings- og avløpsteknikk) utgjør 30 studiepoeng og er utført våren 2013 ved Institutt for Vann- og Miljøteknikk ved NTNU, Trondheim. Oppgaven handler om planlegging og utforming av gresskledde vannveger i norske forhold.

Jeg vil gjerne takke min veileder, Sveinn T. Thorolfsson ved Institutt for Vann- og Miljøteknikk. Thorolfsson har vært min veileder både i denne masteroppgaven og i fordypningsprosjektet. Thorolfsson har motivert og inspirert meg underveis og vært en faglig dyktig veileder med gode råd. Studieturen til Island høsten 2012 hadde aldri blitt noe av om det ikke var for Thorolfssons nettverk. De som tok så godt imot oss på Island fortjener også å nevnes igjen. Takk til Þráinn Hauksson ved Landslagi Ehf, Reynir Sævarsson ved EFLA, Halldóra Hreggviðsdóttir ved ALTA og Eysteinn Haraldsson ved Garðabær kommune.

Takk også til Ph.D-kandidat Kim Aleksander Haukeland Paus for gode innspill underveis. Også en takk til MSc. Torstein Dalen for hjelp i masteroppgaven. Veiledning fra forsker Bent Christen Braskerud var til god nytte i utarbeidelsen av faktaarket til ExFlood-prosjektet.

Sammendrag

Gressklede vannveger er et tiltak for åpen overvannshåndtering. Hovedmålet med denne oppgaven er å øke kunnskapen om planlegging og utforming av gressklede vannveger i Norge. Gressklede vannveger er en grunn forsenking i terrenget med lav helning i avrenningsretningen. Grunnen kan erstattes med et filtermedium og dreneringsrør for å øke infiltrasjonskapasiteten. Tiltaket brukes til trygg bortledning av overvann, men er utformet for at transporten skal være så rolig som mulig. Ved å forsinke og fordrøye vannet jevnes vannføringen ut og volumavrenningen reduseres ved bedre tid til infiltrasjon. Gressklede vannveger kan brukes til å samle opp avrenning og knytte ulike LOD-tiltak (Lokal OvervannsDisponering) sammen og redusere belastningen på disse. De kan inngå som elementer i park- og rekreasjonsområder og kan brukes som snødeponi om vinteren. Ved å heve utløpet eller bygge terskeldammer kan avrenning fordrøyes til det infiltrerer. Tiltaket kan og brukes som flomveg.

Gressklede vannveger forbedrer vannkvaliteten. De viktigste prosessene for tilbakeholdelse av forurensninger er sedimentering og infiltrasjon. Gode og stabile rensegrader har sammenheng med god hydraulisk kontroll. Gressklede vannveger kan, ved rett utforming, fullstendig infiltrere mindre nedbørshendelser og den kritiske første delen av større nedbørshendelser som inneholder en stor del av forurensningene.

Avrenningen fra små nedbørshendelser i gressklede vannveger kan modelleres ved bruk av Mannings formel for vannføring og Green-Ampts likninger for infiltrasjon. Av 5 modellerte nedbørshendelser i en gresskledd vannveg i Luleå, hadde 4 hendelser en sammenheng mellom modellert og observert vannføring som ga en R^2 -verdi bedre enn 0,75.

Gressklede vannveger fungerer i kaldt klima, men trenger noen tilpasninger. Det er nødvendig med en høyere infiltrasjonskapasitet enn det som anbefales i amerikanske manualer på grunn av lave temperaturer. Hvis tiltaket skal brukes som snødeponi må dette gjennomføres uten at vannføringen hindres. Det er ikke kommet fram til egne metoder for dimensjonering av vintersituasjoner, men er lagt opp til at man overdimensjonerer en sommersituasjon.

Masteroppgaven har resultert i et forslag til veileder for planlegging og utforming av gressklede vannveger i norske forhold. Veilederen beskriver blå/grønn overvannshåndtering, urbanhydrologi, avrenningsberegninger og utforming av gressklede vannveger. Den inkluderer også beregningseksempler og eksempler på anvendelse langs E6 Gardermoen-Biri og på Urridaholt, Island. På Urridaholt er gressklede vannveger sentralt i overvannshåndteringen, avrenning fra veger og eiendommer samles opp og transporteres rolig bort samtidig som det infiltrerer.

Abstract

Grassed swales are a Best Management Practice for open stormwater management. The main goal of this thesis is to increase the knowledge about planning and designing grassed swales in Norway. Grassed swales are shallow depressions in the terrain with a small gradient in the runoff direction. The soil may be replaced with a filtermedia and a underdrain to increase the infiltration capacity. It's used for safe conveyance of stormwater, but it's designed to slow down the runoff as much as possible. By delaying and detaining the water, the runoff is evened out and the runoff volume is reduced by allowing more time for infiltration. Grassed swales can be used to collect runoff and linking different BMP's together and reduces the load they experience. They can be incorporated into parks and recreational areas and can be used as snow deposits during the winter. By raising the outlet or constructing check dams, runoff can be detained until it infiltrates. Grassed swales can also be used as flood channels.

Grassed swales improve the water quality. The main processes for retaining pollutions are sedimentation and infiltration. Good, stable treatment efficiencies is achieved with good hydraulic control. Grassed swales can, when designed correctly, completely infiltrate smaller rainfall events and the first critical part of larger events that contains a large part of the pollutants.

Runoff from small rainfall events can be modeled with the use of Manning's equation for runoff and Green-Ampt's equations for infiltration. Out of 5 modeled rainfall events in a grassed swale in Luleå, 4 of these had a correlation between observed and simulated runoff that resulted in a R^2 -value higher than 0,75.

Grassed swales will function in cold climate, but it's necessary with some adaptations. It's necessary with a higher infiltration capacity than what is recommended in American manuals because of low temperatures. If grassed swales are to be used as snow deposits, this has to be done without disturbing the runoff. There are no suggestions for dimensioning in winter conditions, it is recommended that a summer condition is oversized.

The master thesis resulted in a draft for a manual on how to plan and design grassed swales in Norwegian conditions. The manual describes blue/green stormwater management, urban hydrology, runoff calculations and detailing of grassed swales. It also includes design examples and examples of use along the E6 Gardermoen-Biri road and on Urridaholt, Iceland. On Urridaholt grassed swales is an important part of the stormwater management. Runoff from roads and properties is collected and slowly conveyed while promoting infiltration.

Innhold

1	Innledning.....	1
1.1	Formål.....	1
1.2	Metode.....	1
1.3	Begrepsavklaring.....	2
2	Bakgrunn.....	3
2.1	Resultater fra fordypningsprosjekt.....	3
2.1.1	Utforming.....	4
2.1.2	Gressklede vannveger i kaldt klima.....	5
2.1.3	Fordeler og ulemper med gressklede vannveger.....	6
2.1.4	Drift og vedlikehold.....	6
2.1.5	Bruk av gressklede vannveger.....	6
2.1.6	Dimensjonering.....	6
2.1.7	Andre viktige momenter.....	7
2.2	Norsk Klima.....	7
2.2.1	Kaldt klima.....	8
2.3	Urbanhydrologi.....	8
2.4	Blå/grønn overvannshåndtering.....	10
2.5	Norsk Vanns treleddsstrategi.....	10
2.6	Beregning av overflateavrenning.....	11
2.7	Hydraulikk i gressklede vannveger.....	14
2.7.1	Mannings formel.....	14
2.7.2	Gressets påvirkning.....	15
2.7.3	Erosjon.....	15
2.7.4	Dimensjonering.....	16
2.8	Infiltrasjon.....	17
2.9	Renseprosesser.....	21
2.9.1	Sedimentering.....	21
2.9.2	Vegetativ filtrering.....	21
2.9.3	Biodegradering.....	21
2.9.4	Adsorpsjon.....	21
2.9.5	Opptak i vegetasjonen.....	22
2.9.6	Infiltrasjon.....	22
2.10	Renseeffekter.....	22

2.11	Regnbed i Norge	26
2.12	Utfordringer i kaldt klima	27
2.12.1	Strategier for overvannshåndtering i kaldt klima	29
2.12.2	Detaljutforming	29
3	Caseeksempler	30
3.1	Urridaholt, Island	30
3.2	E6 Gardermoen-Biri	33
4	Modellering av vannføring i gresskledd vannveg langs med jevnt fordelt innløp langs siden	35
4.1	Forsøksfelt	35
4.2	Data	36
4.3	Modellutforming	36
4.4	Kalibrering	39
5	Resultater og diskusjon	40
5.1	Modellering	40
5.1.1	Kalibrering	40
5.1.2	Validering	42
5.2	Utforming av gresskledd vannveger	48
5.2.1	Geometri	48
5.2.2	Gradient i lengderetning	48
5.2.3	Tiltak i terreng brattere enn 5%	48
5.2.4	Innløp	49
5.2.5	Utløp	49
5.2.6	Vegetasjon	52
5.2.7	Filterlag	52
5.2.8	Sikkerhet	52
5.2.9	Underdrenering	53
5.2.10	Kulvert/Stikkrenner	53
5.2.11	Gresskledd vannveger i kaldt klima	54
5.2.12	Planlegging	55
5.2.13	Drift og vedlikehold	57
5.3	Fordeler og ulemper med gresskledd vannveger	58
5.3.1	Fordeler	58
5.3.2	Ulemper	58

5.4	Beregningseksempel	58
5.4.1	Beregning av vannkvalitetsvolum:	58
5.4.2	Alternativ 1: Avrenning fra en normal nedbørshendelse skal fordrøyes og infiltrere i vannvegen innen 24 timer	59
5.4.3	Alternativ 2: Avrenning fra en normal nedbørshendelse skal renne gjennom den gresskledde vannvegen under vegetasjonshøyden.	59
5.4.4	Alternativ 2: Avrenning fra en stor nedbørshendelse skal ikke skape erosjon i vannvegen.....	61
5.4.5	Alternativ 2: Den gresskledde vannvegen skal ha kapasitet til å lede avrenningen fra en ekstrem nedbørshendelse uten oversvømmelse	61
5.5	Innsendte artikler	62
6	Drøfting	63
6.1	Tverrfaglig samarbeid.....	64
6.2	Tilpasninger til kaldt klima.....	64
7	Konklusjon	68
8	Videre arbeid	68
9	Referanser:	Feil! Bokmerke er ikke definert.
10	Vedlegg A: Veileder for planlegging og utforming av gresskledde vannveger versjon 1.1 72	
11	Vedlegg B: Faktaark ExFlood-Anlegging av gresskledde vannveger i Norge	104
12	Vedlegg C: Gresskledde vannveger reduserer belastningen på overvannssystemet!.....	110

Figurliste

Figur 1 Utforming av gresskledd vannveger. (Leland, 2012), etter en modifikasjon av (Woods-Ballard et al., 2007)	3
Figur 2 Anbefalt minimumsdimensjon, stikkrenner. Fra Statens Vegvesen Håndbok 018 Vegbygging	5
Figur 3 Normal årsmiddeltemperatur (Hanssen-Bauer et al., 2009)	8
Figur 4 Midlere årsnedbør. (Hanssen-Bauer et al., 2009)	8
Figur 5 Vannbalanseligningen	9
Figur 6: Effekt av urbanisering på overflateavrenning. (Sveinn T. Thorolfsson, 2012a)	9
Figur 7 Bærekraftig overvannshåndtering. (Stahre, 2006)	10
Figur 8: Treleddstrategi for håndtering av nedbør. (Lindholm et al., 2008)	11
Figur 9 Illustrasjon av konvertering av nedbør (hyetogram) til avløp (hydrogram). (Sveinn T. Thorolfsson, 2012a)	11
Figur 10 IVF-kurve for Risvollan, Trondheim. Fra eklima.met.no 01.06.2013	13
Figur 11 Våt perimenter og vått areal i en åpen kanal	14
Figur 12 Mannings n-verdier for varierende vannedybde. Fra "Virginia Stormwater Management Handbook" (Virginia, 1999)	15
Figur 13 Anlegging av regnbed. (Paus & Braskerud, 2013)	27
Figur 14 Planlagt utbygging på Urridaholt. Landslagi EHF.	30
Figur 15 Konsentrerte innløp og trappefall er sikret med stener for å hindre erosjon. Foto: Tore Leland	32
Figur 16 Kantene er forsterket med belegningstein for å hindre skader fra kjøretøy. Foto: Tore Leland	32
Figur 17 Avskjærende gresskledd vannveg er konstruert som en dam for å fordrøye overvann til det infiltrerer gjennom. Mellom vannvegen og innsjøen er det en våtmark. Foto: Tore Leland	32
Figur 18 Utløp er hevet over bunnivået for fordrøye overvann til det rekker å infiltrere. Partier som er brattere enn 4% forseres med trappefall for å redusere hastigheten. Foto: Tore Leland	32
Figur 19 Kartutsnitt E6 Gardermoen-Biri. ("Statens Vegvesen. Kartutsnitt E6 Gardermoen-Biri," 2013)	33
Figur 20 Eksempel på utforming av filtergrøft. Statens Vegvesen Håndbok 018	34
Figur 21 Skisse av gresskledd vannveg i Sødra Hamnleden med måleutstyr. (M Bäckström, Viklander, & Malmqvist, 2006)	35
Figur 22 Beskrivelse av nedbørshendelser. Bäckström et al. (M Bäckström et al., 2006). * Hendelse 3 og 6 ble brukt til å kalibrere	36
Figur 23 Skjerm bilde fra Microsoft Excel. Verdier for vannføringen ble funnet ved å legge et Excel-diagram over et bilde av diagrammet i studien og finne tilsvarende verdier	36
Figur 24 Flytskjema for beregning av infiltrasjon med Green-Ampt metoden under varierende nedbørsintensitet. Oversatt til norsk etter (Tarboton, 2003)	38
Figur 25 Mulig målefeil i hendelse 6	39
Figur 26 Vannføring i hendelse 3	40
Figur 27 Vannføring i hendelse 6	41

Figur 28 Vannføring i hendelse 1	42
Figur 29 Vannføring i hendelse 2 med 8 min tidsintervall	43
Figur 30 Vannføring i hendelse 2 med 2 min tidsintervall	43
Figur 31 Vannføring i hendelse 4.....	44
Figur 32 Vannføring i hendelse 5.....	45
Figur 33 Vannføring i hendelse 7.....	46
Figur 34 Eksempel på plassering av terskeldammer. Foten av terskeldammen er i samme høyde som toppen på terskeldammen nedstrøms	48
Figur 35 Trappefall kan også brukes for å redusere hastigheten i bratt terreng. Foto: Tore Leland.....	49
Figur 36 Erosjonssikring rundt stikkrenne med steiner. Foto: Tore Leland	50
Figur 37 Minimum 5 cm terskel fra asfaltkant til sideskråning for å forhindre oppbygging av sedimenter	50
Figur 38 Erosjonsikring av innløp med betongplate	50
Figur 39 Utløpet til en gresskledd vannveg ender i et sedimenteringskammer for et regnbed på Risvollan. Foto: Arvid Ekle	51
Figur 40 Kuppelrist hevet over grøftebunnen. Foto: Tore Leland	51
Figur 41 Kantstein med åpning i bunn. Foto: Tore Leland.....	52
Figur 42 Forsterking av kanter med belegningsstein. Foto: Tore Leland	52
Figur 43 Anbefalt minimumsdimensjon, stikkrenner. Fra Statens Vegvesen Håndbok 018 Vegbygging	53
Figur 44 Stikkrenner er et kritisk punkt. Dersom den hydrauliske kapasiteten ikke er tilstrekkelig kan det oppstå oppstuvning og oversvømmelse. Foto: Tore Leland.....	53
Figur 45 Tilpasning til kaldt klima.....	54
Figur 46 Ettermontering av en gresskledd vannveg på en parkeringsplass i Reykjavik, Island. Foto: Tore Leland.....	55
Figur 47 Dimensjonering av gresskledd vannveg	57
Figur 48 Trapesformet gresskledd vannveg	59
Figur 49 Sterkt forurenset snø, som brøytekanter langs veger, etterlater et tykt sedimentlag. Trondheim 30.03.2013 Foto: Tore Leland	65
Figur 50 Gresskledd vannveg. Foto: Tore Leland.....	72
Figur 51: Effekt av urbanisering på overflateavrenning. Hydrologi - Urbanhydrologi for overvannshåndtering. (Thorolfsson, 2012a)	74
Figur 52 Illustrasjon av konvertering av nedbør (hyetogram) til avløp (hydrogram). (Thorolfsson, 2012a)	75
Figur 53 IVF-kurve for Risvollan, Trondheim. Fra eklime.met.no 01.06.2013	76
Figur 54 Sterkt forurenset snø, som brøytekanter langs veger, etterlater et tykt sedimentlag. Foto: Tore Leland.....	78
Figur 55 Bærekraftig overvannshåndtering. Stahre (2006).....	79
Figur 56: Treleddstrategi for håndtering av nedbør. (Norsk Vann, 2008)	79
Figur 57 Mannings formel.....	81
Figur 58 Mannings n-verdier for varierende vanndybde. Fra "Virginia Stormwater Management Handbook"	81

Figur 59 Forskjellige varianter av gresskledd vannveg. (Modifikasjon av Woods-Ballard et al., 2007).....	83
Figur 60 Eksempel på plassering av terskeldammer. Foten av terskeldammen er i samme høyde som toppen på terskeldammen nedstrøms	84
Figur 61 Trappefall kan også brukes for å redusere hastigheten i bratt terreng. Foto: Tore Leland.....	84
Figur 62 Erosjonsikring av innløp med betongplate	85
Figur 63 Minimum 5 cm terskel fra asfaltkant til sideskråning for å forhindre oppbygging av sedimenter	85
Figur 64 Utløpet til en gresskledd vannveg ender i et sedimenteringskammer for et regnbed på Risvollan. Foto: Arvid Ekle	86
Figur 65 Erosjonsikring ved en stikkrenne med steiner. Foto: Tore Leland	87
Figur 66 Kuppelrist hevet over grøftebunnen. Foto: Tore Leland	87
Figur 67 Forsterking av kanter med belegningsstein. Foto: Tore Leland	88
Figur 68 Kantstein med åpning i bunn. Foto: Tore Leland.....	88
Figur 69 Anbefalt minimumsdimensjon, stikkrenner. Fra Statens Vegvesen Håndbok 018 Vegbygging	89
Figur 70 Stikkrenner er et kritisk punkt. Dersom den hydrauliske kapasiteten ikke er tilstrekkelig kan det oppstå oppstuvning og oversvømmelse. Foto: Tore Leland.....	89
Figur 71 Tilpasning til kaldt klima.....	90
Figur 72 Ettermontering av en gresskledd vannveg på en parkeringsplass i Reykjavik, Island. Foto: Tore Leland.....	91
Figur 73 Dimensjonering av gresskledd vannveg	93
Figur 74 Planlagt utbygging på Urridaholt. Landslagi EHF	94
Figur 75 Kartutsnitt E6 Gardermoen-Biri. Statens Vegvesen.....	96
Figur 76 Eksempel på utforming av filtergrøft. Statens Vegvesen Håndbok 018	97
Figur 77 Trapeformet gresskledd vannveg	99
Figur 78 Gresskledd vannveg med filtermedium og underdrenering	105
Figur 79 Gresskledd vannveg i Augustenborg. Fotograf: T. Leidstedt.....	106
Figur 80 Erosjonsikring av konsentrert innløp med steinlegging. Urridaholt, Island. Foto: Tore Leland	108
Figur 81 "Avskjærende" gresskledd forsenking mellom Urridavatn og bebyggelsen på Urridaholt fordrøyer og infiltrerer overvannet. Urridaholt, Island. Foto: Tore Leland (Leland, 2012).....	108
Figur 82 Bratte partier forseres med trappefall. Utløpet er hevet over bunnivået i grøfta for å la overvannet infiltrere. Urridaholt, Island. Foto: Tore Leland.....	108
Figur 83 Gresskledd forsenkinger tåler ikke belastningen fra kjøretøyer. Her er kantene forsterket med belegningsstein. Urridaholt, Island. Foto: Tore Leland	108
Figur 84 Ettermontering av gresskledd forsenking på en parkeringsplass i Reykjavik. Foto: Tore Leland	109
Figur 85 Forfatter: Tore Leland, masterstudent VA-teknikk, NTNU	110
Figur 86 Gresskledd vannveg på Urridaholt, Island, reduserer og jevner ut avrenningen fra et boligområde. Foto: Tore Leland.....	110
Figur 87 Dimensjonering av gresskledd vannveg	112

Figur 88 Trappfall reduserer hastigheten i bratte partier. Foto: Tore Leland..... 113

Tabeller

Tabell 1 Maksimal avrenningskoeffisienter	12
Tabell 2 Vannkvalitetsvolum i 3 norske byer. Bakken, 2013	13
Tabell 3 Norsk Vanns anbefalte minimum dimensjonerende hyppigheter (gjentaksintervall) for ulike avløpssystem (Lindholm et al., 2008)	13
Tabell 4 Snøsmelteintensiteter i noen norske byer [mm/12timer]. (Bøyum et al., 1997)	14
Tabell 5 Rapporterte renseeffekter (Magnus Bäckström, 2002), (Claytor & Schueler, 1996), (Deletic & Fletcher, 2006), (Stagge, Davis, Jamil, & Kim, 2012), (M. Barrett, Walsh, Jr., & Charbeneau, 1998; M. E. Barrett, 2005),(Yu, Kuo, Fassman, & Pan, 2001).....	25
Tabell 6 Rapporterte renseeffekter. (PGC, 2002).....	26
Tabell 7 Rensegrader i infiltrasjonsbassenger. Statens Vegvesen Håndbok 261 (utkast)(2006)	27
Tabell 8 Designutfordringer i kaldt klima. (Sveinn T. Thorolfsson, 2012b)	28
Tabell 9 Verdier for hendelse 3 med 2 min tidsintervall.....	40
Tabell 10 Verdier for hendelse 6.....	41
Tabell 11 Verdier for hendelse 1	42
Tabell 12 Verdier for hendelse 7	45
Tabell 13 Verdier for hendelse 4 og 5	45
Tabell 14 Beregnet vannføring når bredden er 0,5 meter	60
Tabell 15 Maksimal avrenningskoeffisienter for noen type flater. (Mays, 2001)	75
Tabell 16 Vannkvalitetsvolum i 3 norske byer. Bakken, 2013	76
Tabell 17 Designutfordringer for gresskledd vannveger. Basert på (Thorolfsson, 2012b)....	77
Tabell 18 Snøsmelteintensiteter i noen norske byer [mm/12timer]. (Bøyum et al., 1997)	77
Tabell 19 Norsk Vanns anbefalte minimum dimensjonerende hyppigheter (gjentaksintervall) for ulike avløpssystem (Lindholm et al., 2008) (Lindholm O., 2012)	80
Tabell 20 Beregnet vannføring når bredden er 0,5 meter	100

1 Innledning

Vannforskriften § 4 om miljømål for overflatevann og vannressursloven § 7 om vannets løp i vassdrag og infiltrasjon i grunnen gjør det nødvendig med en overvannshåndtering som også tar vare på vannkvaliteten i resipienten. Blå/grønne overvannsløsninger er interessante som et supplement til tradisjonelle «grå» overvannsløsninger for å nå disse målene. Det kalde klimaet i Norge gir ekstra utfordringer. Forurensninger akkumuleres i snøen over flere måneder og smeltevannet om våren kan inneholde svært høye konsentrasjoner. Kombinasjonen av regnpå-snø og smeltevannsavrenning gir ekstra utfordringer. Løsninger for overvannshåndtering må tilpasses det norske klimaet. Institutt for Vann & Miljøteknikk på NTNU har i lang tid hatt fokus på disse utfordringene.

En gresskledd vannveg er en grunn forsenking i terrenget som sørger for bortledning av overvann, samtidig som forsinkelse og fordøyning skal være størst mulig. Det er ennå ikke utarbeidet klare retningslinjer for utforming av gresskledd vannveger i kaldt klima. Det er imidlertid gjort en del arbeid i andre land, blant annet Sverige, Nord-Amerika, Skottland, Island og Danmark.

1.1 Formål

Formålet med oppgaven er å samle og vurdere kunnskap omkring gresskledd vannveger i norske og utenlandske miljøer. Med dette skal informasjon om planlegging og bruk av gresskledd vannveger i norsk klima gjøres tilgjengelig for alle som arbeider med overvannshåndtering.

1.2 Metode

Arbeidet bygger på resultatene fra fordypningsprosjektet «Gresskledd forsenking i norsk klima» (Leland, 2012). Utkastet til veileder som ble utarbeidet skal forbedres og utvides. Først blir resultatene fra fordypningsprosjektet gjennomgått. Deretter presenteres litteratur omkring hydraulikk og renseprosesser i gresskledd vannveger, overvannshåndtering og en redegjørelse omkring utfordringer i kaldt klima. To eksempler på bruk av gresskledd vannveger blir beskrevet. Vannføring og infiltrasjon i en gresskledd vannveg blir modellert. Resultatene av dette blir gjennomgått og det presenteres et forslag til veileder for utforming og dimensjonering av gresskledd vannveger i norske forhold.

Ved å sende inn artikler til relevante fagtidsskrift skal informasjon bli ytterligere tilgjengelig.

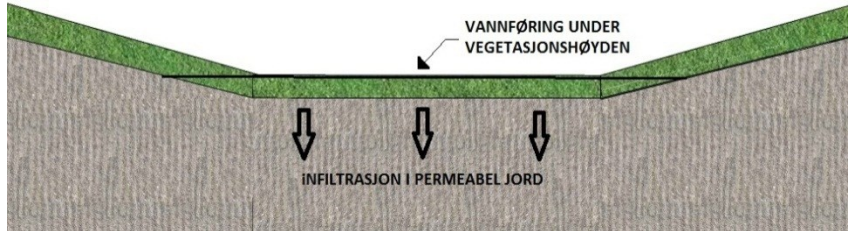
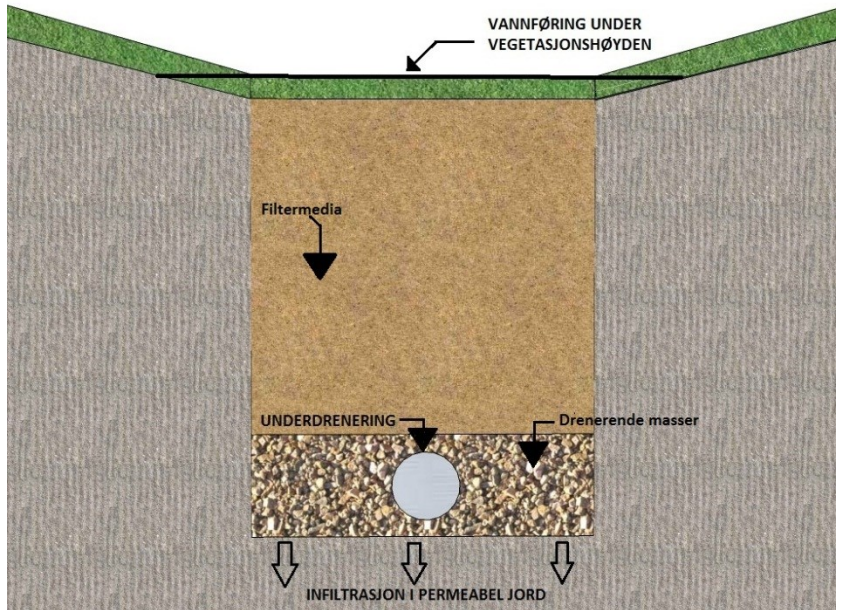
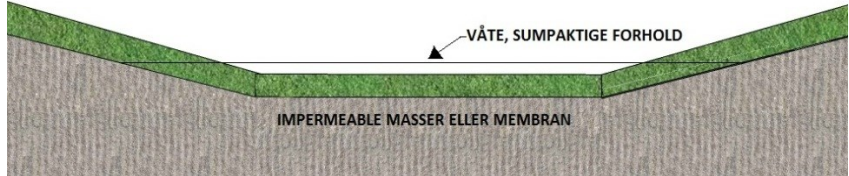
1.3 Begrepsavklaring

Nedbør	Nedbøren faller som regn, sludd eller snø og beskrives vannligvis med enheten millimeter
Gropmagasinering	Gropmagasinering er nedbør som ikke renner av overflaten eller infiltrerer, men blir der til det fordamper.
Infiltrasjon	Transporten av vann fra overflaten og nedover i jordprofilet.
Intersepsjon	Den delen av nedbøren som ikke når bakken, men som fanges opp på overflaten til gjenstander og vegetasjon
Volumavrenning	Den mengden med vann (f.eks. m ³ eller liter) som blir til avrenning på overflaten fra nedbør
Spissvannføring	Maksimal vannføring ved en nedbørshendelse
Konsentrasjonstid	Den lengste tiden det tar for nedbør som faller på bakken å renne til utløpet av nedbørsfeltet
Vannkvalitetsvolum	En stor del av den årlige nedbøren genereres av små nedbørshendelser og ved å fange opp de første millimeterne kan mye av den årlige nedbøren fanges opp. Vannkvalitetsvolumet er det volumet i et nedbørsfelt som trengs for å fange opp og rense en bestemt andel av den årlige nedbøren, når dette tømmes mellom hver nedbørshendelse.
Kationebytterkapasitet	Den maksimale mengden kationer som jorda klarer å tilbakeholde ved en bestemt pH-verdi.
EMC (Event Mean Concentration)	Gjennomsnittlig konsentrasjon av forurensning i en nedbørshendelse.
Fordrøyning	Midlertidig lagring av overvann

2 Bakgrunn

2.1 Resultater fra fordypningsprosjekt

Gresskledde vannveger er grunne forsenkinger i terrenget som skal transportere, fordrøye, infiltrere og forbedre vannkvaliteten på overvann. De har lav helning i avrenningsretningen. Dette skal bidra til at vannhastigheten er lav.

<p>Konvensjonelle vannveger er brede og grunne kanaler med svak gradient. Vannføring under vegetasjonshøyden reduserer hastigheten og gir en renseseffekt. Økt oppholdstid øker også muligheten for infiltrasjon.</p>	
<p>En tørr vannveg inkluderer et spesielt filtermedia for å forbedre vannkvaliteten og underdrenering for å øke infiltrasjonsraten.</p>	
<p>Våte vannveger har våte, sumpaktige forhold i bunn av vannvegen for å øke rensgraden. Dette kan gjøres med en svak gradient og enten membran eller impermeable masser under vannvegen.</p>	

Figur 1 Utforming av gresskledde vannveger. (Leland, 2012), etter en modifikasjon av (Woods-Ballard et al., 2007)

Prosjektoppgaven resulterte i et utkast til veileder for planlegging og dimensjonering av gresskledde vannveger i norske forhold.

2.1.1 Utforming

2.1.1.1 Geometri

Tverrsnittet har ofte form som en parabel, trapes eller trekant. Tverrsnittet skal være lavt og bredt for å gi større vannføring ved lav høyde. En flat bunn på 0,5-2,5 meter gir flatestrømming under vegetasjonshøyden. Brede bunn enn 2,5 meter kan gjøre at vannføringen graver ut en ny kanal. Sidekantene må ikke være brattere enn 3:1, det er anbefalt 4:1.

2.1.1.2 Helning i avrenningsretningen

Helningen bør være 1-3 % for å sikre lave vannhastigheter, men likevel tilstrekkelig drenering. Hvis terrenget er veldig flatt (<1 %) kan det legges inn underdrenering for å øke dreneringen. Gradienten må ikke være større enn 5 % uten at det gjøres tiltak for å hindre erosjon. Dette kan gjøres med terskeldammer eller trappefall.

Terskeldammer bygges slik at foten av dammen oppstrøms er i samme høyde som toppen på dammen nedstrøms. Terskeldammer kan bygges opp av grove steinmaterialer, tømmerstokker, sviller og planker. Nedstrøms bør dammen sikres mot erosjon, f.eks ved å plastre. Terskeldammen må forankres inn i sidene av vannvegen. For å unngå erosjon ved forankringen kan det lages et skår i dammen som klarer å ta unna normalvannføringen.

2.1.1.3 Innløp

Innløpet er enten et punkt oppstrøms eller langs siden av vannvegen. Konsentrerte innløp må sikres mot erosjon. Dette kan gjøres med steinlegging eller en betongplate. Å forbehandle vannet før det går i innløpet vil redusere gjentetting av bunnen. Forbehandling kan gjøres med et sedimentasjonskammer før innløpet. Der vann renner inn som flatestrømming langs hele siden er det tilstrekkelig forbehandling i sideskråningen.

2.1.1.4 Utløp

Utløpet må også utformes slik at det ikke oppstår problemer med erosjon. Behovet for et overløp og en sikker flomvei må også vurderes. Utløpet er som regel til et område som kan oversvømmes eller til neste ledd i overvannshåndteringen.

2.1.1.5 Vegetasjon

Vegetasjonen har en viktig funksjon i å redusere hastigheten, hindre erosjon og forbedre vannkvaliteten. Gressdekket må derfor være sunt og tett. Gressdekket må tåle perioder med oversvømmelse og være motstandsdyktig mot forurensningene i overvannet.

2.1.1.6 Filtermedia

I Virginia Stormwater Management Handbook (1999) er det foreslått et filtermedium som består av 50 % sand, 20 % grovt organisk materiale (engelsk: mulch) og 30 % matjord. Dette filtermediet bør være minst 75 cm (30 tommer).

2.1.1.7 Drensledning

Drensledningen bør være minimum 200 mm i et 300 mm drenerende lag (pukk).

2.1.1.8 *Kulvert/Stikkrenner*

For å krysse veier er det nødvendig å benytte kulverter eller stikkrenner. Dimensjoneringen av disse bør vurderes på bakgrunn av aktuell vannføring, men det er viktig at disse ikke blokkeres, f.eks av is og snø, søppel, løv, kvister og lignende. I Statens Vegvesen Håndbok 018 er det angitt minimumsdimensjoner som bør følges. Kulverter/stikkrenner bør legges med minst 1 % fall for å sikre tilstrekkelig gjennomrenning.

Vegtype	Minimumsdimensjon (innvendig diameter)
	Uten kummer
Hovedveg, samleveg	600 mm
Adkomstveg, gang- og sykkelveg	400 mm
Avkjørsler	300 mm

Figur 2 Anbefalt minimumsdimensjon, stikkrenner. Fra Statens Vegvesen Håndbok 018 Vegbygging

2.1.2 **Gresskledde vannveger i kaldt klima**

Gresskledde vannveger er godt egnet i norsk klima til å transportere vann. Liten bruk av lukkede rør og inntak gjør sannsynligheten for blokkering liten, men det må tas hensyn til utforming av inntak, utløp, stikkrenner og underdrenering. Gresskledde vannveger vil infiltrere smeltevann hvis vanninnholdet i jorda er lavt før det blir frost i bakken. Dette kan løses med underdrenering eller ved å sperre innløpet før frostperioden.

Muligheten for å bruke gresskledde vannveger som snødeponier gjør det til et verdifullt tiltak. Vannvegen transporterer smeltevannet videre i systemet og reduserer smeltevannsvolumet ved infiltrasjon. Sedimenter og partikulært materiale forblir i stor grad igjen i vannvegen. Hvis gresskledde vannveger brukes langs veier som saltes må det brukes salttolerant vegetasjon. Gresskledde vannveger klarer ikke å holde tilbake veisalt og bør ikke brukes hvis de er forbundet med resipienter som ikke skal forurenses.

2.1.3 Fordeler og ulemper med gresskleddede vannveger

2.1.3.1 Fordeler

- Erstatte overvannsledninger
- Reduserer avrenning, både vannføring og volum
- Jevner ut forurensningskonsentrasjoner
- Forurensning og blokkeringer er synlig og lett å ta hånd om
- Kan brukes til oppgradering av eksisterende anlegg

2.1.3.2 Ulemper

- Arealkrevende
- Stedsbegrensninger –terreng, impermeabel jord (begge kan overkommes med underdrenering)
- Kan oppstå erosjonsproblemer

2.1.4 Drift og vedlikehold

- Vegetasjon
 - Gresset må vedlikeholdes slik at det er tett og frodig. Regelmessig klipping er nødvendig. Områder uten gress må repareres og nytt gressdekke etableres.
- Fjerning av rusk og søppel
 - Rusk og søppel kan forstyrre hydraulikken, endre flombaner slik at det oppstår konsentrerte vannløp og erosjon og blokkere innløp/utløp/kulverter
- Sedimentfjerning
 - Akkumulerte sedimentlag kan være sterkt forurenset, hindre gress i å vokse og tette overflaten slik at infiltrasjonen reduseres.

2.1.5 Bruk av gresskleddede vannveger

Gresskleddede vannveger kan brukes som en erstatning for transport i lukkede rør. Tiltaket kan brukes for å knytte andre LOD-tiltak sammen (LOD-Lokal overvannsdiskonering). Tiltaket er også egnet for å samle opp avrenning som ikke lar seg infiltrere lokalt. Store gresskleddede vannveger kan få et betydelig lagringsvolum ved å heve utløpet. Vann kan dermed lagres i vannvegen til det infiltrerer. Eksempler på bruksområder er oppsamling av avrenning fra plen, tak, p-plasser eller veger og transport til andre LOD-tiltak eller bekk. Gresskleddede vannveger kan utformes til å passe inn i park- og rekreasjonselementer.

2.1.6 Dimensjonering

Avrenningen fra regelmessige nedbørshendelser skal passere under vegetasjonshøyden. Gresskleddede vannveger kan også utformes for at de skal ha et magasineringsvolum, slik at en bestemt mengde vann kan holdes tilbake til det infiltrerer. Avrenningen fra store nedbørshendelser skal ikke skape erosjon i vannvegen og ekstreme vannmengder skal ikke flomme over breddene på vannvegen.

2.1.7 Andre viktige momenter

I fordypningsprosjektet ble det foretatt en studietur til Urridaholt og Kauptun på Island. En erfaring derfra var at det var viktig å lære opp andre aktører (brukere, eiere og beslutningstakere) om den blå/grønne overvannstiltakene som ble valgt. Utkastet til veileder inneholdt derfor kapitler om urbanhydrologi og blå/grønn overvannshåndtering.

I USA og Storbritannia var det utarbeidet flere veiledere om planlegging og utforming av gresskledd vannveger. Gresskledd vannveger kan anvendes i kaldt klima. Det at det er en åpen løsning og det brede tverrsnittet gjør at det er et pålitelig transportsystem. Tiltaket kan og brukes til snølagring. Gresskledd vannveger kan infiltrere smeltevann hvis grunnen er godt drenert. Det mangler designparametere som gir stabile rensegrader og lite forskning er gjort på renseeffekter i kaldt klima.

2.2 Norsk Klima

Klimaet i Norge varierer med den geografiske beliggenheten. Fra sør til nord er det forskjell i mottatt solinnstråling, havet påvirker klimaet langs kysten og det er høyfjellsområder som skjerner de indre strøkene fra luftmassene som kommer fra vest. Ved å bruke Köppens klimaklassifiseringssystem kommer Norge innunder flere klasser (Sveinn T. Thorolfsson, 2012a), fra ytre Oslofjord til Troms er det et maritimt klima (varmtemperert). Sørlandet, Østlandet og Trøndelag har et kontinentalt klima (kaldtemperert). Finnmark har et kontinentalt polarklima(kaldtemperert), mens fjellområdene og Svalbard har et polart klima.

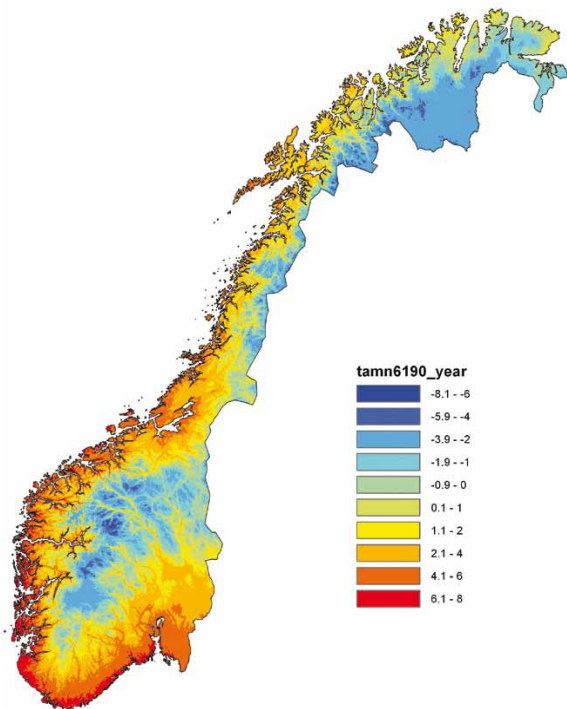
Hanssen-Bauer (Hanssen-Bauer et al., 2009) har funnet flere nøkkeltall.

Årsmiddeltemperaturen varierer fra +6 grader på Vestlandskysten til -4 grader på høyfjellet, deler av Varangerhalvøya og Longyearbyen på Svalbard. Forskjellen mellom høyeste og laveste månedsmiddeltemperatur i indre strøk av Østlandet og Finnmark er 20-30 grader, mens den langs kysten er 10-15 grader. Variasjonene i normal årsmiddeltemperatur vises i Figur 3

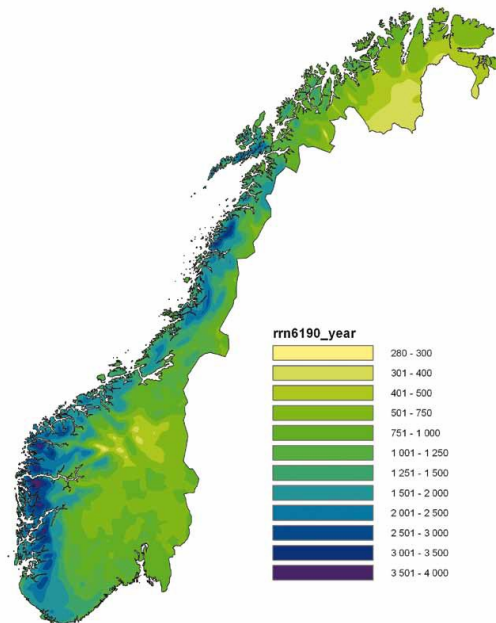
Det kontinentale klimaet har varme somre og kalde vintre, mindre nedbør, men kraftigere bygenedbør. Det maritime klimaet har mildere vintre og mer nedbør. Temperaturen avhenger også av mottatt solinnstråling og høyde over havet. Norge strekker seg over 13 breddegrader og har høyfjellsområder. Mens kystnære nedbørsfelt bare har noen få dager med snødekke er høyfjellet dekt av snø over 300 dager i året (Hanssen-Bauer et al., 2009).

Figur 4 viser normal årsnedbør i Norge. Årsnedbøren er størst i midtre deler av Vestlandet. Fuktig luft fra havet gir nedbør når det tvinges oppover av fjellkjedene. Enkelte steder på Vestlandet er årnormalen over 5000 mm, i Bergen er den over 2000 mm. Også flere steder i Nord-Norge er årsnedbøren over 2000mm. Indre deler av Østlandet og Finnmarksvidda er skjermet fra den fuktige luften og årsnedbøren er lavere. I Gudbrandsdalen og indre Troms er det målt årsnedbør lavere enn 300 mm. Aller tørrest er det på Svalbard, der er målt årsnedbør 180 mm. Bygenedbør som følge av sterk oppvarming av bakken skjer oftest i indre strøk. Dette gjør at største nedbørverdier i varighet fra et minutt til en time i hovedtrekk skjer på Østlandet(Hanssen-Bauer et al., 2009).

I Trondheim er årsmiddeltemperaturen 5,3 grader og forskjellen mellom middeltemperatur i januar og juni-august er omtrent 17 grader. Årsnedbøren er omtrent 900 mm og 30-40 % kommer som snø. (S.T. Thorolfsson et al., 2003) og største døgnet nedbør er 78 mm. Vekstsesongen er på ca 180 dager og det er 70-100 dager med snødekke.



Figur 3 Normal årsmiddeltemperatur
(Hanssen-Bauer et al., 2009)



Figur 4 Midlere årsnedbør.
(Hanssen-Bauer et al., 2009)

2.2.1 Kaldt klima

Kaldt klima kan defineres som områder der minst 3 måneder har en gjennomsnittstemperatur over 10 °C og den kaldeste måneden har en gjennomsnittstemperatur under 1 °C. Dette inkluderer mesteparten av Norge, unntatt noen områder på Sør-Vestlandet (T.M. Muthanna, 2007).

2.3 Urbanhydrologi

Urbanhydrologi handler om vannets kretsløp i urbane områder. Overflateavrenningen kan beregnes fra vannbalanseligningen (Sveinn T. Thorolfsson, 2012a).

Konsekvensene av urbanisering er beskrevet av Thorolfsson (Sveinn T. Thorolfsson, 2012a). Urbanisering medfører at vegetasjon og grønne flater fjernes. Permeable flater erstattes med tette flater som asfalt, betong og takbelegg. Resultatet er at tapsleddene i vannbalanseligningen reduseres og avrenningen øker. Harde tette flater og drenering til lukkede rør gir effektiv bortledning av overvannet. Dette reduserer konsentrasjonstiden i nedbørsfeltet og avløpssystemet må dimensjoneres for kortere og mer intens nedbør. Figur 6 illustrerer hvordan urbanisering øker volumavrenningen og spissvannføringen mens konsentrasjonstiden reduseres.

$$Q = N - F - Int. - Inf - G - X$$

N=Nedbør

F= Fordamping

Int= Intersepsjon

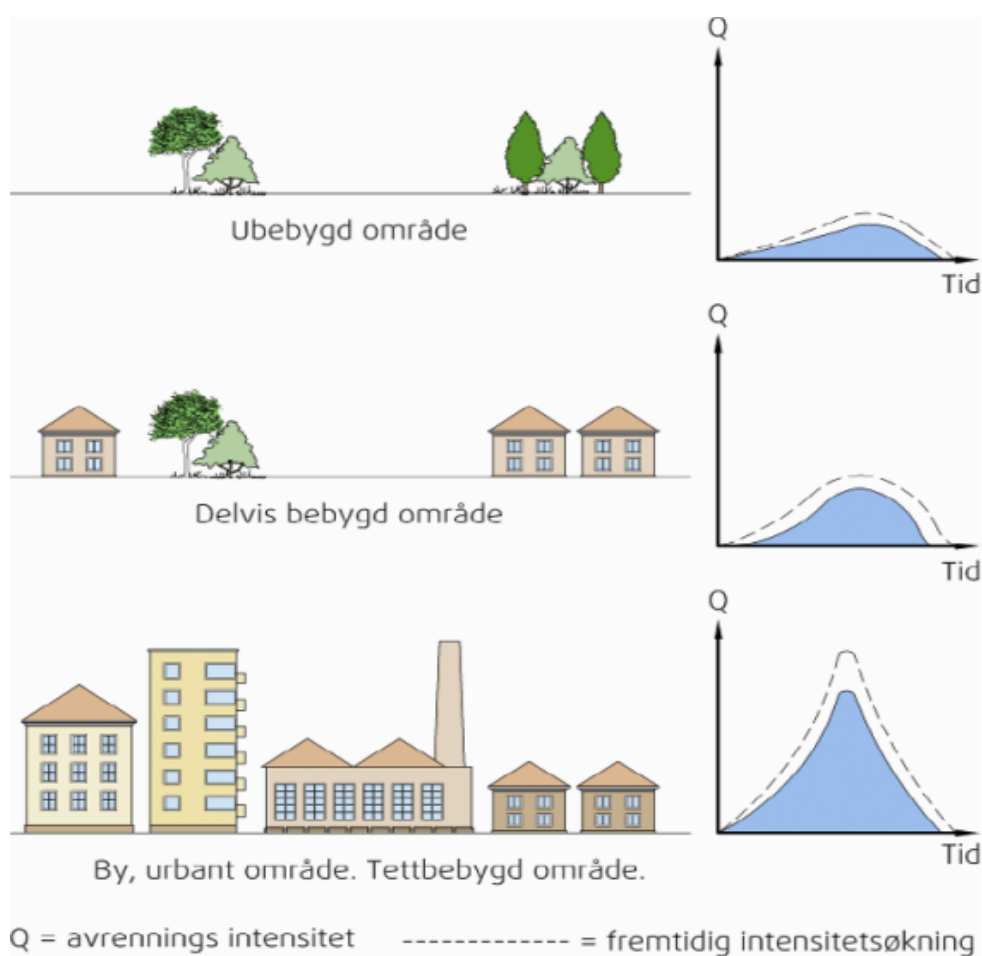
Inf= Infiltrasjon

G= Gropmagasinerer

X= Andre tap

Overvann fra urbane områder inneholder også forurensninger. Gamle fellessystemer blander overvannet med avløpsvann, men overvannet forurenses også fra trafikk, atmosfære, bygningsmaterialer og andre kilder som søppel, løv, dyreekskrementer, utslipp og ulykker. Overvannet kan særlig inneholde mye partikulært materiale og mikroforurensninger, både organiske (f.eks PAH og PCB) og uorganiske (tungmetaller)(Paus, 2012). Forurensninger akkumuleres i tørrvær og skyldes bort med første nedbørshendelse. Dette gir en «first flush» effekt, mesteparten av forurensningen kommer helt i starten.

Figur 5 Vannbalanseligningen



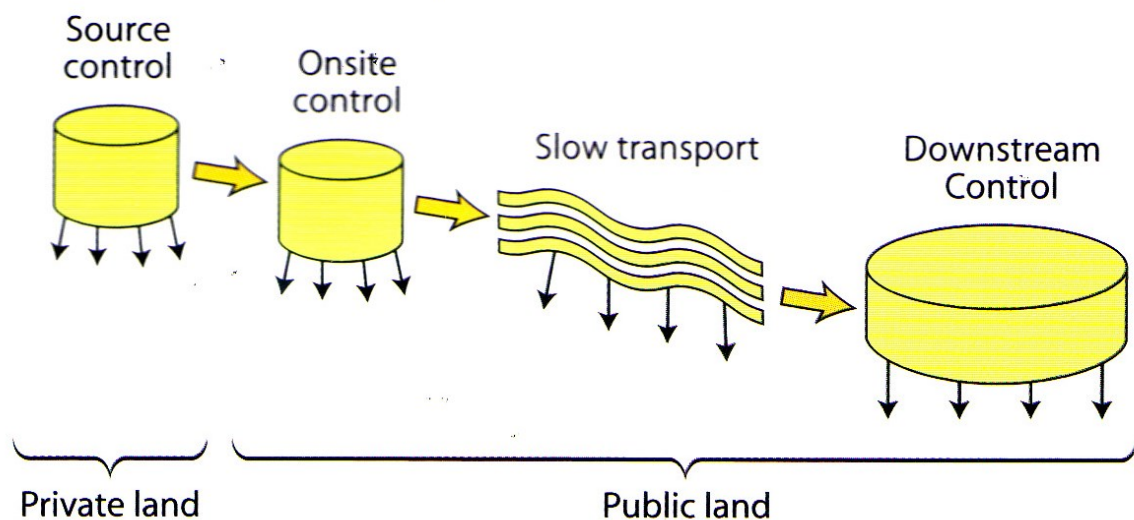
Figur 6: Effekt av urbanisering på overflateavrenning. (Sveinn T. Thorolfsson, 2012a)

2.4 Blå/grønn overvannshåndtering

Blå/grønn overvannshåndtering innebærer at man velger løsninger som ligner naturens egne måter for å håndtere overvann. Overvannet blir sakte transportert, filtrert gjennom jord og vegetasjon, infiltrert i jorda og perkolert ned til grunnvannet. Sikre flomveier må også lages. Løsningene vil ofte se blå/grønne ut, fordi det vil være åpne løsninger hvor overvannet er synlig og mye bruk av grønne flater med vegetasjon. Grunnen til å velge slike løsninger er for å motvirke effektene av urbanisering som er beskrevet tidligere. Tette flater og rask bortledning øker belastningen på overvannssystemet.

Fordi løsningene vil være synlig, er det også viktig at utformingen blir estetisk attraktiv. Mange kaller blå/grønn overvannshåndtering for åpen overvannshåndtering eller bærekraftig overvannshåndtering. Man kan også møte på det engelske begrepet «SUDS» (Sustainable Urban Storm Drainage).

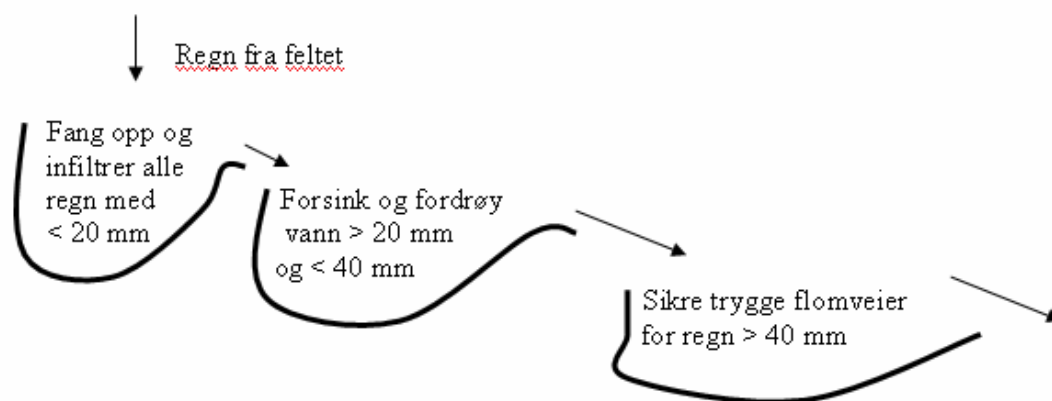
Overvann bør i størst mulig grad håndteres lokalt ved kilden (source control). Dette betyr tiltak på private områder som reduserer avrenningen, blant annet grønne tak eller regnbed. Det overvannet som ikke lar seg håndtere lokalt bør føres til offentlige områder for fordrøyning og infiltrasjon (onsite control). Avrenning herfra bør bortledes så langsomt som mulig for å jevne ut vannføringen. Nedstrøms kontroll innebærer utløp til større dammer, våtmarker og innsjøer.



Figur 7 Bærekraftig overvannshåndtering. (Stahre, 2006)

2.5 Norsk Vanns treleddsstrategi

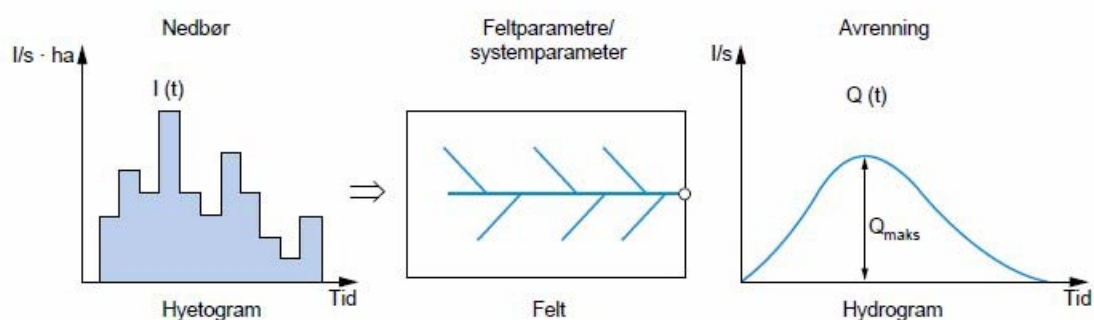
Norsk Vann anbefaler en treleddsstrategi for håndtering av nedbør (Lindholm et al., 2008). Mindre nedbørshendelser skal fanges opp og infiltrere. Store nedbørshendelser skal forsinkes og fordrøyes. Ekstreme nedbørshendelser må håndteres med trygge flomveier. Verdien i Figur 8 er veiledende og må tilpasses lokalt.



Figur 8: Treleddstrategi for håndtering av nedbør. (Lindholm et al., 2008)

2.6 Beregning av overflateavrenning

For å dimensjonere overvannssystemer er det nødvendig å finne en avrenning som blir dimensjonerende. Figur 9 illustrerer at det er en sammenheng mellom nedbør og avløp via feltparametre for nedbørsfeltet.



Figur 9 Illustrasjon av konvertering av nedbør (hyetogram) til avløp (hydrogram). (Sveinn T. Thorolfsson, 2012a)

For mindre nedbørsfelt (arealer mindre enn 20-50 hektar) brukes den rasjonale formel til å gjøre overslagsberegninger for avrenning (Sveinn T. Thorolfsson, 2012a).

Tabell 1 Maksimale avrenningskoeffisienter

for noen type flater (Mays, 2001).

Type flate	φ_{spiss}
Tak	0,8-0,9
Asfalterte veger og gater	0,7-0,8
Grusveger	0,4-0,6
Plen	0,05-0,1
Sammensatte flater:	
Midtby områder	0,7-0,9
Kjøpesenter	0,6-0,8
Blokkbebyggelse	0,4-0,6
Rekkehusområder	0,3-0,4
Åpne eneboligstrøk	0,2-0,3

$$Q = \varphi * A * N \left[\frac{mm}{\text{år}} \right]$$

Formel 1 Den rasjonale formel

eller

$$Q = \varphi * A * I \left[\frac{l}{s} \right]$$

Formel 2 Den rasjonale formel

$$Q = \text{avrenning} \left[\frac{mm}{\text{år}}, \frac{mm}{\text{time}}, \frac{l}{s} \right] \quad \varphi = \text{avrenningskoeffisient}$$

$$A = \text{areal}$$

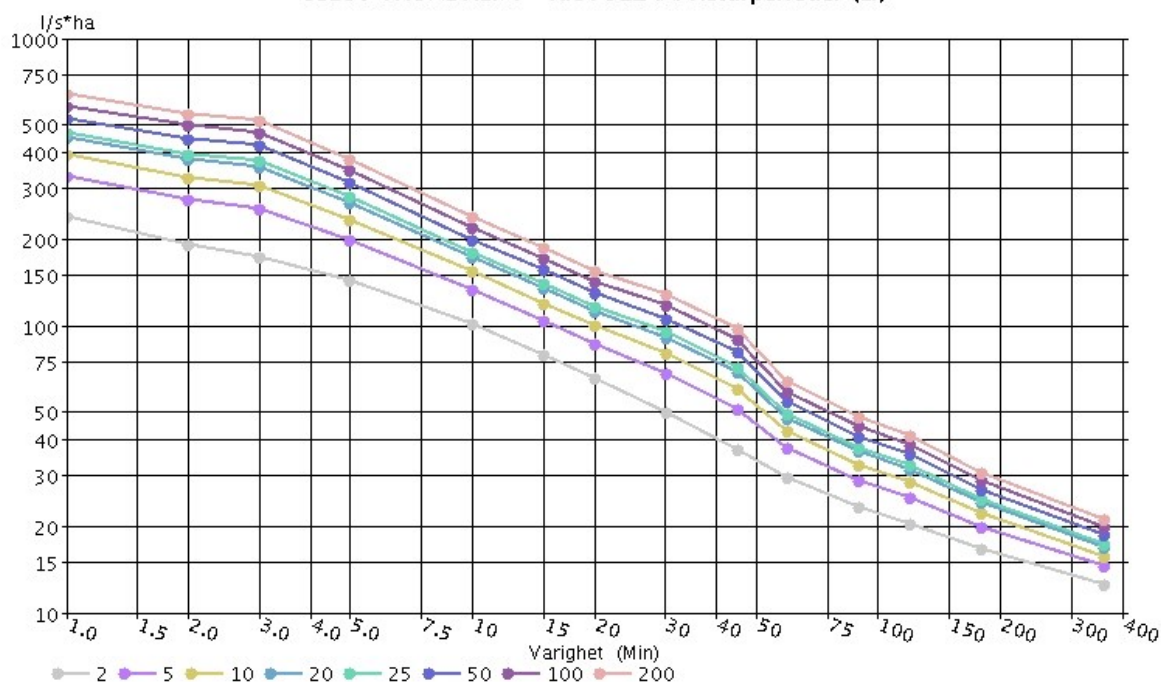
$$I = \text{intensitet} \left[\frac{l}{s * ha} \right]$$

$$N = \text{nedbørsmengde over en tidsperiode} \left[\frac{mm}{\text{år}} \right]$$

For større områder bør det benyttes EDB-baserte modeller; MOUSE, SWMM5, NIVANETT, etc (Sveinn T. Thorolfsson, 2012a).

Intensiteten finnes fra IVF-kurver (Intensitet-Varighet-Frekvens) når man vet konsentrasjonstiden for feltet og har bestemt gjentaksintervall. Gjentaksintervallet kan bestemmes fra en risikoanalyse, foreslåtte verdier er gitt Tabell 3. IVF-kurver utarbeides av Meteorologisk institutt og er tilgjengelig gratis på www.eklima.met.no. Figur 10 viser en IVF-kurve fra Risvollan Urbanhydrologiske målestasjon i Trondheim. Korte regnbyger på noen få minutter kan ha svært høye intensiteter.

68230 TRONDHEIM - RISVOLLAN. Returperioder (år)



Figur 10 IVF-kurve for Risvollan, Trondheim. Fra eklima.met.no 01.06.2013

Vannkvalitetsvolumet er det volumet som er nødvendig for å fange opp en viss andel av den årlige nedbøren. Vannkvalitetsvolumet for Trondheim, Bergen og Sandefjord er gitt i Tabell 2 (Bakken, 2013).

Tabell 2 Vannkvalitetsvolum i 3 norske byer. Bakken, 2013

By	Vannkvalitetsvolum
Trondheim	12,5 mm
Sandefjord	22,4 mm
Bergen	19,7 mm

For Trondheim betyr dette at 90% av den årlige nedbøren kommer fra hendelser som har generert mindre enn 12,5 mm med nedbør.

Tabell 3 Norsk Vanns anbefalte minimum dimensjonerende hyppigheter (gjentaksintervall) for ulike avløpssystem (Lindholm et al., 2008)

Dimensjonerende regnskylhyppighet (1 i løpet av «n» år)	Type område	Dimensjonerende oversvømmeshyppighet (1 i løpet av «n» år)
1 gang i løpet av 5 år	Områder med lavt skadepotensiale (utkantområder, landkommuner etc.)	1 gang i løpet av 10 år
1 gang i løpet av 10 år	Boligområder	1 gang i løpet av 20 år
1 gang i løpet av 20 år	Bysenter/industrialområder/forretningssstrøk	1 gang i løpet av 30 år
1 gang i løpet av 30 år	Underganger/områder med meget høyt skadepotensiale	1 gang i løpet av 50 år

I kaldt klima kan det oppstå situasjoner med regn på snø, frossen mark og snøsmelting. Norsk Vann Rapport 162|2008, «Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering» (Lindholm et al., 2008) gir anbefalinger om hvilke situasjoner som må analyseres:

En sommersituasjon må beregnes for maksimal avrenning for alle feltstørrelser i alle landsdeler.

I tillegg bør man beregne følgende avrenningssituasjoner:

-Vinteravrenning, frossen mark, snødekket mark med snøsmelting og langvarig regn, når feltene er større enn 20-50 ha. (Sommerregn bør være utsortert fra IVF kurvene).

- Det beregnes også høstavrenning med langvarig regn og våt mark når feltene er større enn 20-50 ha.

Den største avrenningen av disse gir maksimal avrenning for alle årstider.

Smelteintensiteter for noen norske byer er gjengitt i Tabell 4. (Bøyum et al., 1997)

Tabell 4 Snøsmelteintensiteter i noen norske byer [mm/12timer]. (Bøyum et al., 1997)

Sted	z = 2 år	z = 5 år	z = 10 år
Kristiansand	19	27	33
Sandnes	20	25	30
Bergen	18	24	28
Oslo	19	27	32
Trondheim	19	39	33
Mosjøen	20	30	35
Narvik	22	32	35
Tromsø	20	30	38
Gjennomsnitt	19,6	28,1	33,0

2.7 Hydraulikk i gresskledd vannveg

2.7.1 Mannings formel

Vannføringen i åpne kanaler kan beskrives med Mannings formel. Mannings n-verdier beskriver ruheten i kanalen, økende ruhet gir en større verdi. Våt perimenter er alle lengder i tverrsnittet som er i kontakt med vannet, som vist i Figur 11. Å øke den våte perimenteren og/eller redusere den hydrauliske gradienten reduserer hastigheten.

Manning's formel:

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}$$

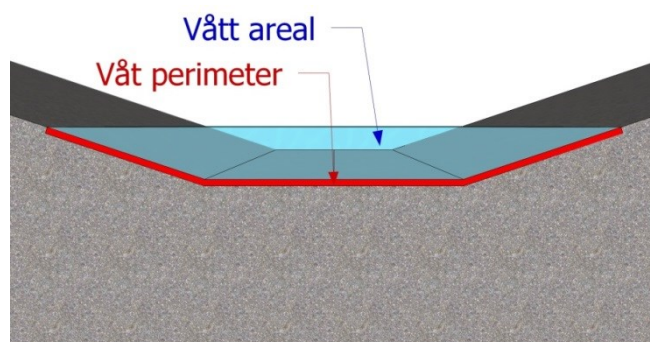
v=Vannhastigheten (m/s)

n=Mannings n-verdier (m^{1/3}/s)

R=Hydraulisk radius

$$R = A_{\text{våt}} / P_{\text{våt}}$$

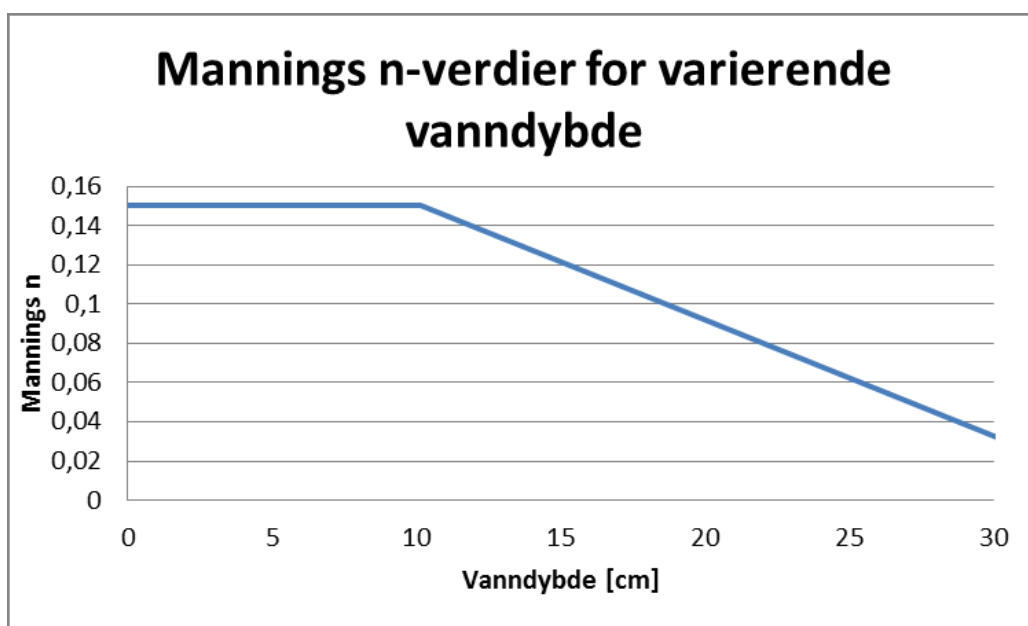
I=Helningen på bunnen



Figur 11 Våt perimenter og vått areal i en åpen kanal

2.7.2 Gressets påvirkning

Gresset har betydning for ruhetene langs bunnen. I en litteraturstudie fra fordypningsprosjektet (Leland, 2012) refereres det til Bäckström (Magnus Bäckström, 2002) om transport av vann i gresskledd vannveger. Skjærspenninger fra vannstrømmen avledes av gresstilkene under vegetasjonshøyden. Dette gir lave vannhastigheter nær bunnen og øker erosjonsmotstanden. Når vannføringen øker bøyes stilkene av og ruheten endres. Sammenhengen mellom dybde og ruhet er vises i Figur 12. Også Mays (Mays, 2001) skriver at oversvømmelse av vegetasjon og hydrauliske påkjenninger vil påvirke ruheten. I et forsøk utført av Bäckström (Magnus Bäckström, 2002) på tre gresskledd vannveger var hastigheten under 1 m/s, selv med en gradient på 7,3 %.



Figur 12 Mannings n-verdier for varierende vanndybde. Fra "Virginia Stormwater Management Handbook" (Virginia, 1999)

2.7.3 Erosjon

Erosjon er prosessen der partikler rives løs og flyttes av nedbør, vind, gravitasjon eller vannføring. Prosessen påvirkes av bunnvegetasjonen, klima, topografi og jordegenskaper (Mays, 2001).

2.7.3.1 Problemer med erosjon

Erosjon gjør at partikler kan transporteres videre nedstrøms, for eksempel til reservoarer, elver eller dammer. Partikulært bundne forurensninger kan transporteres med og partiklene kan redusere kapasiteten på andre rensiltak, f.eks. ved å oppta volum eller redusere infiltrasjonsraten. Kritiske punkter som kulverter eller innløp/utløp kan blokkeres. Vegetasjonen kan rives bort og utgravinger kan endre tverrsnittet.. Litteraturstudien i prosjektoppgaven viste at andre veiledere (Minnesota, 2008; Virginia, 1999) anbefalte erosjonssikring rundt konsentrerte innløp.

2.7.3.2 Tiltak mot erosjon

Mays (Mays, 2001) har gjort en gjennomgang av ulike erosjonstiltak i åpne kanaler:

2.7.3.2.1 Løsmasser:

Grove, veldrenerende løsmasser reduserer erosjonsfaren fordi infiltrasjon reduserer overflateavrenningen. Løsmasser med høyt innhold av silt og fine sandpartikler er de mest erosjonsfarlige på grunn av liten partikkelstørrelse og manglende bindingskrefter mellom partiklene. Topografien kan skape store gradienter i lengderetningen, dette gir høyere hastigheter og erosjonsmuligheter.

2.7.3.2.2 Vegetasjon:

Vegetasjonsdekke er et effektivt tiltak mot erosjon. Vegetasjonen fungerer som et skjold mot regndråper som treffer bakken og kan rive løs partikler, bremser vannføringen, forbedrer lufting og opptak av vann i jorda og holder fast og binder sammen partikler i jorda.

2.7.3.2.3 Nettingforsterking:

Nettingforsterking (engelsk: Turf reinforcement mats) legges i det øverste laget av jorda og forsterker gressrøttene slik at de tåler høyere skjærspenninger. Mays (Mays, 2001) anbefaler en maksimal tillatt hastighet på 3 m/s i kanaler med nettingforsterking.

2.7.3.2.4 Steinfylling og brostein:

Bunnen kan dekkes med steinfylling eller brostein i utsatte områder for å beskytte jord og vegetasjon mot erosjon.

2.7.3.2.5 Terskeldammer:

En terskeldam bygges på tvers av kanalen for å redusere hastigheten. Terskeldammene bygges slik at foten på dammen oppstrøms er i samme høyde som toppen av dammen nedstrøms. Terskeldammen kan bygges opp av grove steinmaterialer, tømmerstokker, sviller og planker.

Braskerud og Myrabø (Braskerud & Myrabø, 2013) anbefaler å forankre kvistdammer 20 cm inn i jorda i hver ende. Kvistdammer er enkle å anlegge i løsmasser når det er god tilgang på trær. Kostnadene for tiltaket er derfor lave. For å forhindre erosjon i forankringen kan man lage en overløpskant.

2.7.4 Dimensjonering

For vannføringer mindre enn 1 m³/s og gradient i lengderetningen mindre enn 10% kan man anta en statisk, uniform strømning i korte tidsperioder for åpne kanaler (Mays, 2001). Dette gjør det mulig å basere seg på en friksjonsformel (f.eks Mannings formel) og gradienten. Uniform strømning gjør at energilinje, vannoverflaten og bunnen er parallelle. Ifølge Mays (Mays, 2001) kan maksimal tillatt hastighet brukes som dimensjoneringskriterium. Claytor og Schueler (Claytor & Schueler, 1996) setter 1,2-1,5 m/s som grensen for ikke-eroderende hastighet i gresskledd forsinkinger.

2.8 Infiltrasjon

Når vann infiltrerer i jorda går vannstrømmen via porene. Løsmasser består av granulære partikler og imellom disse er det tomrom. Porøsiteten er andelen porer i et enhetsvolum av løsmassene.

$$n = \frac{\text{Porevolum}}{\text{Totalvolum}}$$

Porene kan fylles med luft og/eller vann. Vanninnholdet er andelen vann i et enhetsvolum av løsmassene.

$$\theta = \frac{\text{Volum vann}}{\text{Totalvolum}}$$

Hvis alle porene er fullstendig fylt med vann er $\theta = \theta_s = n$ og jorda er mettet. Dersom $\theta < n$ er jorda umettet. Fordi vannstrømmen går gjennom porene vil økende porøsitet øke gjennomstrømningsarealet. Størrelse og form på porene er påvirket av størrelse og pakking av partiklene i jorda. Hvert korn er omgitt av en vannfilm som suges fast av overflatetensjon mellom korn og vannmolekyler. Suget øker når vannfilmen blir tynnere og finkornete jordarter med små porer kan derfor holde tilbake mer vann som ikke lar seg dreneres. Dette suget gjør at poretrykket/trykkpotensialet (ψ) er negativt i den umettete sonen. I mettet sone er poretrykket positivt fordi det bærer vekten av materialet rundt. Ved grunnvannsspeilet er poretrykket lik null.

Trykkpotensialet kan beskrives som en funksjon av vanninnholdet, $\psi(\theta)$. Når vanninnholdet reduseres øker tensjonspenningen til et punkt der vann ikke lenger dreneres vekk. Dreneringsraten avtar eksponentielt og når etter hvert et nivå som er neglisjerbart, oftest innen et par dager (Dingman, 2008). Dette nivået defineres som feltkapasiteten og beregnes denne som:

$$\theta_{FC} = n * \left(\frac{|\psi_{ae}|}{340 \text{ cm}} \right)^{\frac{1}{b}}$$

ψ_{ae} = air – entry tension b = distribusjonsindeks for porestørrelse

Formel 4 Estimert feltkapasitet

I umettet sone der $\psi < 0$ blir trykkpotensialet også omtalt som en tensjon. Denne tensjonen kan suge vann opp fra mettet sone og til en viss høyde. Området mellom denne grensen og grunnvannsspeilet kalles kapillærvannsonen. Den nederste delen av kapillærvannsonen er

nesten helt mettet med vann. Fra overkant av dette nivået avtar vannivået raskt og mengden luft blir betydelig større. Tensjonen i dette punktet betegnes ψ_{ac} (engelsk: air-entry tension).

Vannstrømmer gjennom umettet sone kan også beskrives med Darcys lov:

$$q = -K \frac{dh}{dl} \left[\frac{L}{T} \right]$$

Formel 5 Darcys lov

Den hydrauliske konduktiviteten, K , avhenger også av vanninnholdet. Det hydrauliske potensialet består av gravitasjonspotensialet og trykkpotensialet.

$$h = z + \psi(\Theta)$$

Når vanninnholdet øker fylles flere porer med vann og det blir flere kontinuerlige strømningsveier. Da øker den hydrauliske konduktiviteten og den blir også en funksjon av vanninnholdet, $K(\Theta)$. Mettet hydraulisk konduktivitet betegnes K_{SAT} . Selv om den hydrauliske konduktiviteten øker med økende vannmetning reduseres vannsuget (tensjonen). Denne effekten er større og resultatet er at infiltrasjonsraten er høyere når jorda er tørr. I praksis betyr dette at infiltrasjonsraten er høyest i begynnelsen av en nedbørshendelse. Minimumsraten er lik den mettede hydrauliske konduktiviteten.

Selv om gjennomstrømningshastigheten er stor i jorda kan infiltrasjonsprosessen være begrenset av en tett overflate Følgende faktorer viktig for den hydrauliske konduktiviteten ved overflaten (Dingman, 2008):

- Organiske lag på overflaten – Overflaten består av organisk materiale med store åpninger. Rotvekst og aktivitet fra mark, insekter og dyr bidrar til større overflateporøsitet
- Frost – Jord med høyt vanninnhold som fryser kan oppleve betongfrost som gjør overflaten nær impermeabel.
- Innvasking av fine sedimenter – Fine sedimenter kan transporteres inn i større porer og redusere permeabiliteten
- Menneskelig modifikasjon –Konstruksjon av impermeable flater eller kompaksjon av jorda.

Woods-Ballard et al. (Woods-Ballard et al., 2007) skriver at de underliggende massene er viktige for funksjonen til mange SUDS-tiltak fordi permeabiliteten øker infiltrasjonsraten ned i grunnen. Hvis grunnvannsspeilet går over bunnen av SUDS-tiltaket infiltrerer ikke lenger vann ned i grunnen og derfor bør maksimalt forventet grunnvannsnivå være minst en meter under bunnen. Liten avstand mellom bunnen og grunnvannsspeilet øker også sjansene for forurensing av grunnvannet. Pittner & Allerton (Pittner & Allerton, 2010) anbefaler

feltundersøkelser for å kartlegge potensielle infiltrasjonsrater. Jordens egenskaper kan variere med noen meters mellomrom. Gresskledde vannveger skal være tørre mellom nedbørshendelser og dårlig drenering kan motarbeide dette.

2.8.1.1 *Green-Ampts modell*

Green-Ampts modell anvender Darcy's lov for å beskrive infiltrasjonsprosessen. Infiltrasjonsraten f beskriver hvor fort vannet strømmer ned i jorda. Det er en begrensning i hvor fort jorda kan infiltrere vann, og denne kalles infiltrasjonskapasiteten, f_c . Hvis raten for vann som når overflaten (w) er lavere enn infiltrasjonskapasiteten infiltrerer alt og infiltrasjonsraten $f=w$. Dersom $w > f_c$ er det et overskudd og $f = f_c$. Dette overskuddet blir igjen på overflaten og det oppstår en gropmagasinerings. Denne gropmagasineringsen blir etterhvert til avrenning (R).

$$R = w - f$$

Initielt er $dh/dl=0$. Når tilstrømmingen av vann på overflaten trenger ned i jorda øker vanninnholdet. Dette øker den hydrauliske konduktiviteten, men absoluttverdien av tensjonen øker og det gir en hydraulisk gradient, $dh/dl \neq 0$. Det oppstår en fluks nedover og det samme skjer lenger og lenger nedover etter hvert som vann strømmer til overflaten. Dersom $w > K_{SAT}$ vil tilslutt $w > f_c$ og det oppstår gropmagasinerings. Etter dette fortsetter vann å infiltrere og en metningsfront beveger seg nedover, men det akkumuleres vann på overflaten som blir til avrenning. Når dette skjer blir bidraget fra tensjonen til den hydrauliske gradienten stadig mindre og det betyr at infiltrasjonsraten synker.

Ved å bruke Darcy's lov blir infiltrasjonsraten i Green-Ampts modell:

$$f_c = K_{SAT} \left(1 + \frac{|\psi_f|(\theta_s - \theta_0)}{F} \right)$$

**Formel 6 Green-Ampt
infiltrasjonsrate**

$\psi_f =$ tensjon ved metningsfronten

Gropmagasinerer skjer når $f_c = w$. Ved å sette inn denne verdien kan kumulativ infiltrasjon ved gropmagasinerer (F_p) beregnes som:

$$F_p = \frac{K_{SAT} |\psi_f| (\theta_s - \theta_0)}{(w - K_{SAT})} \quad w > K_{SAT}$$

Formel 7 Green-Ampt kumulativ infiltrasjon ved gropmagasinerer

Fordi $f = w$ før tid for gropmagasinerer, t_p , beregnes den kumulative infiltrasjonen (F) som:

$$F = w * t \quad \text{hvis } t < t_p$$

Formel 8 Kumulativ infiltrasjon før gropmagasinerer

Dermed beregnes t_p som:

$$t_p = \frac{F_p}{w}$$

Formel 9 Tid til gropmagasinerer

Etter gropmagasinerer kan den kumulative infiltrasjonen fra et vilkårlig tidspunkt t_s beregnes som:

$$t - t_s = \frac{F - F_s}{K_{SAT}} + \frac{|\psi_f| (\theta_s - \theta_0)}{K_{SAT}} \ln \left(\frac{F_s + |\psi_f| (\theta_s - \theta_0)}{F + |\psi_f| (\theta_s - \theta_0)} \right)$$

Formel 10 Kumulativ infiltrasjon etter gropmagasinerer

Denne formelen løses implisitt for F .

2.9 Renseprosesser

2.9.1 Sedimentering

Suspenderte partikler kan sedimentere til bunns. Partiklene kan bli værende på bunnen eller de kan re-suspendere ved høye vannføringer. Gravitasjon er drivkraften bak sedimentering. Partiklene sedimenterer hvis de synker til bunns før de blir transportert ut av vannvegen. Synkehastigheten er beskrevet av Stokes lov.

$$v_s = \frac{2(\rho_p - \rho_f)}{9\mu} gR^2$$

Formel 11 Stokes lov

Synkehastigheten reduseres med økende viskositet og øker når densitetsforskjellen mellom partikkel og væsken øker eller når partikkelradiusen øker. Viskositeten er blant annet avhengig av temperaturen og øker når temperaturen synker. Økt salinitet øker densiteten til vannet. Sedimentering som renseprosess har evne til å separere grovere partikler og partikulært bundet materiale. Rensing må sees på som en «akkumulering» og «fjerning» av forurensinger (Hvitved-Jacobsen, Vollertsen, & Nielsen, 2010). Partikler sedimenterer til bunns og blir der til de resuspenderer eller fjernes.

2.9.2 Vegetativ filtrering

Vegetativ filtrering er en fysisk tilbakeholdelse av forurensinger i vegetasjonen.

2.9.3 Biodegradering

En degradering av organisk materiale ved mikrobiell aktivitet i jorda. Biofilmer etableres rundt partikler i jorda som områder for mikrobiell vekst (Claytor & Schueler, 1996)

2.9.4 Adsorpsjon

Forurensing kan bindes til overflaten på jordpartikler og planter ved adsorpsjon. Adsorpsjon har evnen til å binde ioner og molekyler, det betyr at næringsstoffer metaller og organisk materiale kan tilbakeholdes ved denne prosessen. Overflatearealet av jordpartikler og planter har betydning for omfanget av adsorpsjon. I en gresskledd vannveg er det særlig overflaten på gresset som kan adsorbere forurensinger. Sammenlignet med drenering gjennom et filter, porøse overflater og infiltrasjonsbassenger, så er det en lavere grad av direkte kontakt med det adsorberende substratet (gresset i dette tilfellet) i en gresskledd vannveg og derfor lavere potensial for adsorpsjon (Scholes, Revitt, & Ellis, 2008).

Ifølge Claytor og Schueler (Claytor & Schueler, 1996) øker adsorpsjonspotensialet i et filtermedium med økende innhold av organisk materiale, kationebytterkapasitet og nøytral til alkalisk pH. Ren sand har lite eller intet innhold av organisk materiale, leire eller kationebytterkapasitet og har derfor lavt adsorpsjonspotensial. Organisk materiale som kompost har et mye høyere potensial. Likevel vil sedimentering av fine partikler og organisk materiale på overflaten av et sandfilter over tid øke adsorpsjonspotensialet.

2.9.5 Opptak i vegetasjonen

Næringsstoffer og metaller kan taes opp av vegetasjonen i vekstperioden og bli en del av biomassen. Disse adsorberes først i jorda og blir senere tatt opp av planterøttene. Hvis gresset klippes og fjernes blir derfor også disse forurensningene fjernet. Gresset er også en kilde til organisk materiale som gir større adsorpsjon i jorda.

2.9.6 Infiltrasjon

Infiltrasjon i jorda har potensiale til å tilbakeholde løste forbindelser i overvannet.

Renseprosessene inkluderer filtrering (fysisk tilbakeholdelse), biodegradering og adsorpsjon til jordpartikler (Hvitved-Jacobsen et al., 2010). Adsorpsjon i jorda ved ionebytting og biodegradering ved mikrobiell omsetting kan holde tilbake løste forbindelser.

Sorpsjonskapasiteten påvirker akkumuleringen av forurensinger. Generelt har finere jordmasser bedre sorpsjonskarakteristikk for både metaller og næringsstoffer enn grovere jordmasser, men dårligere hydraulisk konduktivitet. Videre har jord med en andel organisk materiale har god sorpsjonskarakteristikk (Hvitved-Jacobsen et al., 2010). Fordi adsorpsjon er en prosess som skjer på overflaten er det en begrensning i mengden som kan adsorberes, denne mengden er sorpsjonskapasiteten. Når sorpsjonskapasiteten er brukt opp er det ikke mulig å adsorbere mer.

Fordi infiltrasjon reduserer overflateavrenningen reduseres også evnen til å transportere forurensinger med overflateavrenningen (Dillaha, Sherrard, & Lee, 1986). Ifølge Engelund/Hansen ((Engelund & Hansen, 1967), sitert av (Olsen, 2008)) reduseres mengden sedimenter transportert per tid når hastigheten reduseres. Ekstra sedimenter utover det vannstrømmen har kapasitet til å transportere deponeres på bunnen.

2.10 Renseeffekter

Claytor og Schueler (Claytor & Schueler, 1996) re-analyserte 16 tidligere studier på renseseffekter i åpne, vegeterte kanaler. De åpne, vegeterte kanalene i disse studiene kunne deles inn i dreneringskanaler, gresskledde kanaler og tørre/våte vannveger.

Dreneringskanalene var utformet for rask bortledning av avrenningen og kriteriet var at en 2-års designstorm ikke skulle skape erosjon. Rask avledning og egenskaper ved de underliggende løsmassene gjorde at veldig lite vann infiltrerte. Avrenningen passerte gjennom på bare noen få minutter og reduserte mulighetene for sedimentering eller infiltrasjon. Fire av ni dreneringskanaler hadde negative rensegrader for suspenderte sedimenter. 2 gresskledde kanaler ble undersøkt. Disse var utformet som en konvensjonell vannveg. Claytor og Schueler fant at disse hadde høye rensegrader for sedimenter, hydrokarboner og metaller (sink, kobber og bly). Den lengste av disse hadde best resultater. De tørre/våte vannvegene hadde høyere og mer konsistente rensegrader. Disse hadde god evne til å fjerne sedimenter, nitrogen, organisk karbon og metaller (sink, kobber og bly). Claytor og Schueler kom fram til at fordrøyning og infiltrasjon var den viktigste årsaken til disse resultatene ettersom konsentrasjonen i utløpet hadde endret seg lite.

Bäckström(Magnus Bäckström, 2002) fant i en litteraturstudie at gresskledde vannveger hadde en stor evne til å fjerne suspenderte stoffer, tungmetaller, PAH-forbindelser og olje. Verdiene var ikke konsistente. Også Bäckström kom fram til at infiltrasjonen hadde stor påvirkning på resultatet. De minste nedbørshendelsene resulterte ikke i avrenningen ut av vannvegen. De variable rensegradene har gitt liten tiltro til gresskledde vannveger som en pålitelig forurensningskontroll. Gjennom egne forsøk fant Bäckström en reduksjon i suspenderte stoffer på 79-98 %, men fant ingen klar sammenheng mellom utforming og rensegrad. Infiltrasjonsraten, tilstanden på vegetasjonen og lengden påvirket rensegraden for suspenderte stoffer. Bäckström fant en sammenheng mellom innløpskonsentrasjon og rensegrad. Høy innløpskonsentrasjon for suspenderte stoffer ga også en høy rensegrad, mens lave innløpskonsentrasjoner ga en negativ rensegrad. Bäckström konkluderte derfor med at gresskledde vannveger er et tiltak som jevner ut forurensningskonsentrasjonene. Over tid blir likevel en betydelig del av forurensningene tilbakeholdt. 70 % av total mengde suspenderte stoffer blir tilbakeholdt i vannvegen. Sedimentering hadde større betydning enn filtrering gjennom gresset for rensegraden for suspenderte stoffer.

Flere har foreslått designparametre for å oppnå en tilfredsstillende rensing i gresskledde vannveger. Yu et al. (Yu et al., 2001) foreslår en lengde på minst 75 meter og maksimalt 3 % helning i avrenningsretningen. (Ferguson, 1998) foreslo at hastigheten må være lavere enn 0,15 m/s, lengden minimum 60 meter og hydraulisk oppholdstid lenger enn 9 minutter. Barret et al.(M. Barrett et al., 1998) fant at langs veger fanges en stor del av forurensningene opp i sideskråningen. Det er en eksponentiell sammenheng mellom lengden på vannvegen og rensegraden, mye fjernes iløpet av de første meterne. Bäckström kommenterer derfor at det ikke er meningsfullt å bruke lengde eller oppholdstid som designparameter langs veger, der mye avrenning renner inn like oppstrøms utløpet. Langs veger fant Bäckström en sammenheng mellom arealet av vannvegen og arealet av tette flater som drenerer til vannvegen.

Deletic og Fletcher (Deletic & Fletcher, 2006) fant at fjerningen av suspenderte stoffer økte når vannføringen ble redusert. Dette tilsvarer økt oppholdstid. Det var også en eksponensiell reduksjon i konsentrasjonen med lengde i vannvegen.

Stagge et al.(Stagge et al., 2012) overvåket 2 gresskledde vannveger under 18 nedbørshendelser uten terskeldammer, installerte 2 terskeldammer og overvåket de gresskledde vannvegene under 27 ytterligere nedbørshendelser. De 40% minste nedbørshendelsene produserte ingen avrenning, reduserte avrenningen fra ytterligere 40% av nedbørshendelsene og for de 20% største nedbørshendelsene fungerte de som dreneringskanaler uten noen betydningsfull reduksjon i avrenning.

Stagge et al. poengterer at den volumetriske reduksjonen på grunn av infiltrasjon var viktig for forbedringen i vannkvalitet fordi den totale massen suspenderte partikler reduseres. Gresskledde filterstriper som forbehandling hadde den effekten at TSS-konsentrasjonen ble redusert for nedbørshendelser med lav eller middels intensitet, men økte for de hendelsene med høyest intensitet. Stagge et al. spekulerer i at dette skyldes resuspensjon eller erosjon under intense nedbørshendelser. Terskeldammer reduserte volumavrenningen og dette

resulterte i økt fjerning av total masse SS, men utløpskonsentrasjonen for SS ble forhøyet. Terskeldammer reduserte total masse SS i utløpet med 68,8-82,7% mens gressklede vannveger uten terskeldam fjernet ca 45%.

Studien til Stagge et al. (Stagge et al., 2012) viser en moderat fjerning av total nitrogen og noen hendelser med netto eksport. Det spekuleres i at dette skyldes klipping av gress, løv eller deponering av annet organisk materiale som er en kilde til nitrogen. Filterstriper reduserte EMC-verdien for totalt fosfor. Terskeldammer økte total masse fosfor fjernet fra vannet fra netto eksport (tilførsel av fosfor) til 14%-68,7%. 70% av fosforet i urbant overvann er partikulært bundet (Wu, Allan, Saunders, & Evett, 1998).

Studien til Stagge et al. (Stagge et al., 2012) viste en netto eksport av kloridkonsentrasjoner. Dette forklares med en akkumulering under vintersesongen som følge av salting. Terskeldammer viste ingen effekt. Filterstriper økte mengden klorid transportert ut og dette kan skyldes den økte muligheten for lagring og senere utslipp av klorider.

Studien til Stagge et al. (Stagge et al., 2012) viste at gressklede vannveger var effektiv mot tungmetaller. Terskeldammer økte total masse bly, kobber og sink fjernet fra overvannet. Fjerning av tungmetaller skjer ved sedimentering og filtrering fordi tungmetaller stort sett er bundet til partikler (Stagge et al., 2012). Tabell 5 gir et sammendrag av rapporterte renses effekter fra flere studier.

Tabell 5 Rapporterte renseeffekter (Magnus Bäckström, 2002), (Claytor & Schueler, 1996), (Deletic & Fletcher, 2006), (Stagge, Davis, Jamil, & Kim, 2012), (M. Barrett, Walsh, Jr., & Charbeneau, 1998; M. E. Barrett, 2005),(Yu, Kuo, Fassman, & Pan, 2001)

	Claytor & Schueler, 1996	Barrett, 1998	Yu et al., 2001	Barrett, 2005	Deletic og Fletcher, 2006
	60m Grassed channel	Dry & Wet Swale	Lab-studie og Luleå	Sødra Hamnleden	
SS	>80%	>80%	79%-98%	(-129%)-47% EMC	69% TSS total masse
Organisk karbon		>50%	70 % total masse		
Total fosfor	30 %	30-80%			49% TP total masse
Løst fosfor	70 %				
Total nitrogen	Negativ	40-99%			56% TN total masse
Løst nitrogen	Negativ	Lav eller ingen			
Total kobber			34 %	(-288%)-(-12%)	
Løst kobber			-27 %	(-375%)-(-104%)	
Total sink			66 %	(-35%)-40%	
Løst sink			66 %	8%-32%	
Klorider	Ingen kapasitet	Ingen kapasitet			
Infiltrasjon			33-66%		
	Stagge et al., 2012	Barrett, 1998	Yu et al., 2001	Barrett, 2005	
SS	59%-93% EMC 44,1%-82,7% total masse	85-87% TSS EMC	68% TSS EMC	48% TSS EMC	
Total fosfor	29%-64% EMC (-27,5%)-68,7% total masse				
Total nitrogen	10%-62% EMC (-25,6%)-85,6% total masse				
Total kobber	71%-87%EMC 42,3%-81,1% total masse				
Total sink	85%-90% EMC 18%-92,6 % total masse	75%-91% EMC			
Total bly	73%-85% EMC 26,7%-61,6% total masse				
Løst bly	46%-90% EMC 41,4%-71,6% total masse				
Klorider	(-563%)-(-79%) EMC (-4410%)-(-77,6%) total masse				
Infiltrasjon	27,1%-62,7%			47 %	

2.11 Regnbed i Norge

Paus og Braskerud (Paus & Braskerud, 2013) gir følgende definisjon av et regnbed:

«Et regnbed er et LOD-tiltak (Lokal Overvanns-Disponering), der hovedhensikten er å holde overvann tilbake helt eller midlertidig. Overvann kan komme fra hustak, gårds plasser, P-areal og veier. Anlegget er utformet som en forsenkning i terrenget der vann holdes tilbake på regnbedoverflaten før det infiltrerer ned gjennom ett filtermedium. Et regnbed er ikke en transportvei for overvann (som f. eks. en vadi, en gresskledd forsenkning), har ikke et permanent vannspeil (som en våtmark), og har et rikt vegetativt artsmangfold.»

I Norge er det anlagt fire pilot-regnbed for forskning og utvikling (Paus & Braskerud, 2013). Paus og Braskerud har kommet med anbefalinger om anlegging av regnbed i norske forhold. Leirjord er uegnet for infiltrering og regnbed som etableres på dette må alltid dreneres. Filtermediumet må ha tilstrekkelig høy infiltrasjonskapasitet for å håndtere overvannet og innhold av organisk materiale for å tilrettelegge for vegetasjon og mikrobiologisk vekst. Paus og Braskerud foreslår oppbyggingen i Figur 13. Infiltrasjonskapasiteten må være over 0,1 m/t og dybden større enn 40 cm. Drensrøret må være større enn 100 mm. Dersom infiltrasjonskapasiteten i grunnen er større enn 0,1 m/t kan de stedlige massene brukes som filtermedium. Hvis det ikke er tilfelle må filtermediumet skiftes ut og drensrør installeres. For å ivareta både kravet om infiltrasjonskapasitet og organisk innhold kan anbefalingene fra USA (Minnesota, 2008; WDNR) om å blande 15 til 50 % kompostert hageavfall med 50 til 85 % sand. Det er også mulig å blande inn 5 % stedegen matjord. Denne kan bestå av leire, men må ha grynstruktur (aggregater) og må blandes homogent inn i filtermediumet.

Paus og Braskerud mener anbefalinger om infiltrasjonskapasitet på 2,5 cm/timen er lavt for norske forhold. Den hydrauliske konduktivitet er også avhenger av viskositet og densitet på vannet. En hydraulisk konduktivitet målt ved 22,5 °C vil være redusert 50 % ved 0 °C (Crowe, Elger, & Roberson, 2005). Ifølge Paus og Braskerud vil infiltrasjonen være god der vegetasjonsdekket er etablert og spekulerer i at dette skyldes at de biologiske prosessene som foregår rundt røtter gir mer porøs jord. Denne sammenhengen stemmer med observasjonene de har gjort rundt regnbed i Norge.

Porøs frost dannes når filtermediumet fryser med lavt innhold. Det er fremdeles mulig for vann å infiltrere i jord med porøs frost. Ved betongfrost, tett frost der jorda er fryst i vannmettet tilstand er det ikke mulig for vann å infiltrere. Ifølge Paus og Braskerud må regnbedet dreneres før det fryser og derfor er infiltrasjonskapasiteten viktig.

Bioretensjon (regnbed) er et LOD-tiltak med noen av de høyeste rapporterte renseseffektene (PGC, 2002). Rensegrader for bioretensjon og infiltrasjonsbassenger er gjengitt i Tabell 6 og Tabell 7.

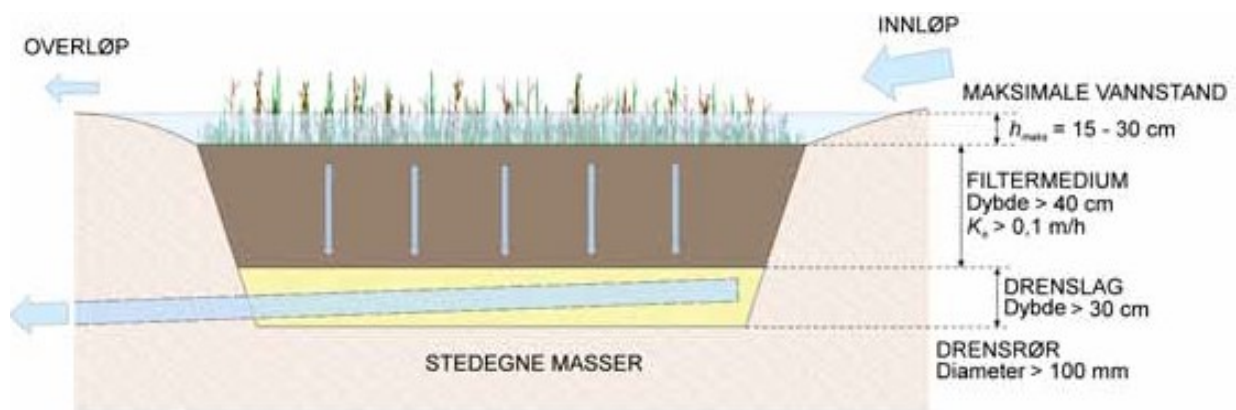
Tabell 6 Rapporterte renseseffekter. (PGC, 2002)

Parameter	Rensegrad
TSS	97 %
Total fosfor	35-65 %
Total nitrogen	33-66 %

Kobber	36-93 %
Bly	24-99 %
Sink	31-99 %
Olje og fett	99 %
Bakterier	70 %

Tabell 7 Rensegrader i infiltrasjonsbassenger. Statens Vegvesen Håndbok 261 (utkast)(2006)

Parameter	Rensegrad
Suspenderte stoffer	80-95 %
Total fosfor	50-70 %
Total nitrogen	40-50 %
Tungmetaller	80-95 %
Organisk stoff	70-90 %



Figur 13 Anlegging av regnbed. (Paus & Braskerud, 2013)

2.12 utfordringer i kaldt klima

I kaldt klima kan snø og is akkumuleres over lang tid. I kystklima med regelmessige mildværsperioder vil bare porsjoner av det totale snøfallet være på bakken til enhver tid, mens i et innenlandsklima kan mesteparten av snøfallet bli til vårmeltingen (Tone M. Muthanna, Viklander, & Thorolfsson, 2007). Snøfallet kan utgjøre en stor andel av den totale nedbøren, i Trondheim kommer 30-40% av nedbøren som snø (Tone M. Muthanna et al., 2007). Derfor kan smeltevannsvolumet være stort, men intensiteten er liten når man sammenligner med regnbyer. IVF-kurven for Trondheim-Risvolla gir en intensitet på 130 l/s*ha for en nedbørshendelse med varighet på 5 minutter og 2 års returperiode. Lindholm et al. (Lindholm O., 2012) viser til Bøyum et al. (1997) som kom fram til at smelteintensiteten i Trondheim er ca 4,4 l/s*ha med 2 års returperiode. Varigheten er lengre enn for nedbørshendelser, vårmeltingen kan foregå over flere uker.

Ifølge Oberts (Oberts, 2003) oppstår det problemer med smeltevann forårsaket av is som blokkerer ledninger, kanaler og rensesystemer, redusert biologisk aktivitet, økt densitet, frossen jord og kjemisk endring av vannkvaliteten. Store mengder smeltevann frigjøres når SUDS-tiltak og resipienter er dårligst rustet til å håndtere forurenset vann. I urbane områder er snøsmelting ujevnt fordelt. Snø brøytes bort fra veier, fortau og parkeringsplasser og samles i deponier, bygninger skygger for sola og veier saltes for å fremkalle snøsmelting. Thorolfsson nevner flere av de samme utfordringene. Noen av dem er gjengitt i Tabell 8.

Tabell 8 Designutfordringer i kaldt klima. (Sveinn T. Thorolfsson, 2012b)

Frost/isdannelse i vannvegen
Isdannelse, tiltetting av sluk/innløp, issørpe som hindrer vannets vei
Redusert sedimenteringshastighet
Redusert infiltrasjon til grunnen
Kort vekstsesong for vegetasjon
Negative effekter av vegsalting på vegetasjon og vannmiljøet
Høye avrenningskoeffisienter ved frost/isdekket mark
Stor avrenning ved samtidig regn/snøsmelting
Høy forurensningsbelastning ved snøsmelting
Snødeponier som ved smelting avgir forurensninger

Det blir flere kilder til forurensning i vintersesongen enn ellers og for noen forurensningstyper kan vintersesongen stå for opp til 60 % av den årlige mengden (Marsalek, Oberts, Exall, & Viklander, 2003). Atmosfæriske forurensninger bindes mer effektivt til snøkrystaller enn til regndråper (Oberts, 2003) og på bakken vil urban forurensning som normalt er tilstede akkumuleres i snøen. Salt og strøsand til vinterdrift av veier akkumuleres også i snøen og konsentrasjonene av klorid kan bli svært høye (Marsalek et al., 2003). Overvann i urbane områder inneholder ofte høye konsentrasjoner av partikulært materiale og partikulært bundet materiale som metaller, fenoler, PCB, PAH. I smeltevann er konsentrasjonene av både grunnstoffer og partikulært materiale høyere enn i avrenning fra nedbør og mens metaller der for det meste opptrer i løst tilstand, er hoveddelen partikulært bundet i smeltevann (Marsalek et al., 2003).

Avrenningen fra den første delen av smeltesyklusen er så liten at partikulært materiale blir igjen, men løselig materiale som er lettere tilgjengelig blir med smeltevannet. Løste stoffer som blir med tidlig i smeltevannet er ofte mer giftig enn materialet som blir igjen og derfor oppstår en mer skadelig «first flush»-effekt. (Marsalek et al., 2003). Så mye som 80% av løste forurensninger kan fraktes med de første 20% av smeltevannet (Viklander & Malmqvist, 1993). Høye konsentrasjoner av klorider kan endre tilstanden til metaller mot en større andel i løst fase (Marsalek et al., 2003). Tørrstoff og hydrofobe forbindelser (f.eks PAH) blir igjen i snølaget til slutten av smeltesyklusen. Da er vannføringen stor nok til å ta med seg finere partikler. Grove partikler blir stort sett igjen på bakken uten å føres med smeltevannet, men kan bli med avrenningen fra nedbørshendelser som genererer en langt større vannføring. (Oberts, 2003)

Ekstra stor påvirkning på vannkvaliteten kan man få på slutten av vårmeltingen der regn på et allerede vannmettet snødekke som har gjennomgått flere fryse-tinesyklusener genererer en brå utløsning av løselige forurensinger fra snødekket, kombinert med utvasking av løselige og partikulært bundet materiale akkumulert på bakken på grunn av regnfallet (Marsalek et al., 2003; Minnesota, 2008). Intensiteten kan bli høyere for et slikt tilfelle enn nedbør på sommeren på grunn av redusert infiltrasjonskapasitet og ekstra smeltevann.

2.12.1 Strategier for overvannshåndtering i kaldt klima

Oberts (Oberts, 2003) beskriver en strategi med flere tiltak for å kontrollere og begrense mengden med forurensing som oppstår under snøsmelting. Dette inkluderer å forhindre tilførsel av forurensing, infiltrere, avlede og fordrøye smeltevannet og å sette sammen flere rens tiltak i serie.

For å forhindre tilførsel av forurensing nevner Oberts tiltak som en veloverveid bruk av salt og strøsand, feiing og rydding i tide før vårmeltingen, rydding av snø fra urbane områder før de forurenser og lagring av snø på permeable flater som tillater infiltrasjon. Å redusere saltbruken reduserer både mengden kjemikalier og mobilisering av andre forurensende stoffer som ellers er partikulært bundet. Den eneste gjennomførbare metoden for å redusere påvirkningen av høye kloridkonsentrasjoner er å fortenne.

Hvis vanninnholdet er lavt før jorda fryser oppstår det porøs frost og jorda er permeabel. Fordi løste stoffer blir med den første delen av smeltevannet og infiltrasjonsraten er høyest i begynnelsen er infiltrasjon en måte å håndtere denne type forurensinger.

I tettbebygde urbane områder vil en høyere andel av løselige stoffer være adsorbert til partikulært materiale fremfor å opptre i løst tilstand. I mindre bebygde områder der kildene til partikulært materiale er færre, vil en høyere andel løselig materiale opptre i løst tilstand. Ifølge Oberts er en av de enkleste metodene å behandle smeltevann med høy andel løste stoffer å transportere smeltevannet via en permeabel flomvei til et infiltrasjonsområde. Et slikt eksempel kan være en gresskledd vannveg til en flomspreder som fordeler vannet på en vegetert overflate.

2.12.2 Detaljutforming

Langs vegkanter kan det over tid bygge seg opp et sedimentlag. Dette sedimentlaget kan hindre vann å renne ned i vannvegen og når det først skjer, konsentrerer vannstrømmen seg via noen få punkter. For å forhindre dette bør det bygges en 50 mm terskel fra asfaltkanten og ned til sideskråningen (Pittner & Allerton, 2010).

3 Caseeksempler

3.1 Urridaholt, Island

Urridaholt er et område i Garðabær kommune utenfor Reykjavík. Området er en åsside som skal bygges ut med boliger, forretninger og detaljhandel (Åstebøl & Gjerlow, 2006). Det ble foretatt en befaring på stedet i november 2012 som en del av arbeidet i TVM 4510 Fordypningsprosjekt (Leland, 2012). Området ligger i nedbørsfeltet til Urridavannet. Det er en målsetning at hverken vannstand eller vannkvalitet skal endres som følge av utbyggingen. Gresskledd vannveger inngår i en behandlingsrekke og er brukt for å samle overvann fra veier og det som ikke lar seg infiltrere lokalt. Vannvegene sørger for langsom transport ut av bebyggelsen og infiltrerer noe av overvannet underveis. Nederst, langs Urridavannet, er det bygget en større avskjærende gresskledd vannveg. Denne fordeler avrenningen på oversiden av en våtmark og er en ekstra barriere mot direkte avrenning til Urridavannet.



Figur 14 Planlagt utbygging på Urridaholt. Landslagi EHF.

Forurensningskontroll

-Opplæring og informasjon til beboere om de valgte overvannsløsningene med brosjyrer, skilt og undervisning i skolen
Forbud mot enkelte byggematerialer, f.eks takplater og maling med sink eller kobber
Veier er konstruert for å unngå unødvendig salting, dvs slake bakker

Kildekontroll

Overvann fra eiendommer blir infiltrert på eiendommen med taknedløp til perforerte rør i steinfylling

Kontroll på stedet

Gresskledd vannveger infiltrerer deler av overvannet fra eiendommer og veger. Utløp er hevet over bunnivået for å fordrøye vannet i vannvegen til det kan infiltrere.

Langsom transport

Overvannet som ikke blir infiltrert på stedet i vannvegen blir transportert ut av bebyggelsen. Utformingen er slik at dette foregår langsomt for å fordrøye.

Nedstrømskontroll

Avskjærende gresskledd vannveg nedstrøms tar imot all avrenning fra bebyggelsen. Denne er bygget uten utløp og dimensjonert for å fordrøye avrenningen fra større nedbørshendelser til den infiltrerer.

Våtmark mellom den avskjærende gresskledd forsinkingen og Urridavannet etableres det en våtmark som infiltrert vann må passere før det når innsjøen

De gresskledd vannvegene er designet for å øke infiltrasjonen. Tverrsnittet er 2,5 meter bredt og 0,2 meter dypt. Under gressdekket er det et 0,4 meter dypt filtermedium som består av 90 % sand og 10 % jord. Under dette igjen er det et dreneringslag som er hydraulisk forbundet til et perforert rør som fylles når dreneringslaget er mettet. Konsentrerte innløp og trappfall er erosjonssikret med steiner. For å redusere hastigheten er partier som er brattere enn 4% utstyrt med trappfall. Den avskjærende vannvegen er bygget sammen med en gangveg og har en linjeføring med svinger for å passe bedre inn i landskapet. (Sveinn T. Thorolfsson, 2008; "Urridaholt EHF," 2013; Åstebøl & Gjerlow, 2006)



Figur 15 Konsentrerte innløp og trappfall er sikret med steiner for å hindre erosjon. Foto: Tore Leland



Figur 16 Kantene er forsterket med belegningstein for å hindre skader fra kjøretøy. Foto: Tore Leland



Figur 18 Utløp er hevet over bunnivået for fordrøye overvann til det rekker å infiltrere. Partier som er brattere enn 4% forseres med trappfall for å redusere hastigheten. Foto: Tore Leland



Figur 17 Avskjærende gresskledd vannveg er konstruert som en dam for å fordrøye overvann til det infiltrerer gjennom. Mellom vannvegen og innsjøen er det en våtmark. Foto: Tore Leland

3.2 E6 Gardermoen-Biri



Figur 19 Kartutsnitt E6 Gardermoen-Biri. ("Statens Vegvesen. Kartutsnitt E6 Gardermoen-Biri," 2013)

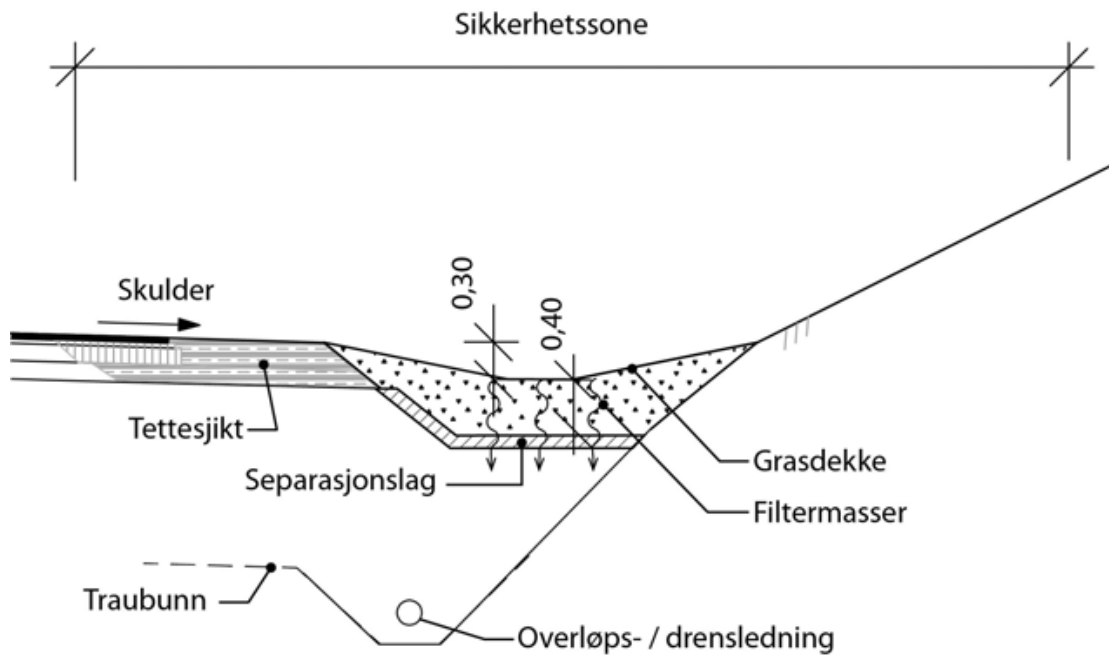
Statens vegvesen skal utvide dagens E6 fra Gardermoen og nordover til en firefelts-veg med midtdeler. Utbyggingen på strekningen Gardermoen-Kolomoen startet i desember 2007 og er forventet ferdig i 2014. Det er planlagt oppstart på strekningen Kolomoen-Biri i 2014. Overvannshåndteringen er planlagt å løses med grøfter som infiltrerer og renses overvannet. Overvannshåndteringen er beskrevet av COWI v/ Åstebøl (Åstebøl, Simonsen, Nordahl, & Moldestad, 2008).

Det er 3 viktige forutsetninger for løsningen:

- Kontrollert bortledning av overvann fra kjørebane til infiltrasjonsløsningen.
- Infiltrasjonsmassene må tilfredsstillende krav til sammensetning for å gi tilfredsstillende infiltrasjonskapasitet og binding av forurensninger
- Veioverbyggingen må sikres fullgod drenering.

Overvannet skal håndteres etter en 3-ledds strategi (Åstebøl et al., 2008). Avrenning fra 1 års regn infiltrerer i grøftene. Når denne infiltrasjonskapasiteten overskrides går overløp til sandfangskummer som er hevet 15 cm over bunnivået. Herfra går det en overløps-/drensledning som er dimensjonert for 10-års nedbør. Ved nedbør over 10-års gjentakintervall ledes overvannet i grøfte til nærmeste lavbrekk og derfra til terreng eller vassdrag. EU's vanddirektiv var en av grunnene for den valgte løsningen. Direktivet setter krav til kontrollert behandling og tilbakeholdelse av forurensninger.

Infiltrasjonsgrøften er utformet etter beskrivelsen i Statens Vegvesen Håndbok 018 Vegbygging, kapittel 403.47 Filtergrøft. Tettesjiktet skal gi en effektiv ledning av overvann til infiltrasjonsgrøften og forhindre en kortslutning ned til overbyggingen. Når lengdefallet øker reduseres fordrøyningsvolumet. Dette reguleres ved å sette inn terskler i grøften.



Figur 20 Eksempel på utforming av filtergrøft. Statens Vegvesen Håndbok 018

Kostnadene for infiltrasjonsgrøften varierer med normalprofilen og fra sted til sted. For normalprofil i jordskjæring kom løsningen likt ut med en tradisjonell løsning. For øvrige normalprofiler ble løsningen dyrere. Filtermassen var det viktigste fordyrende elementet.

Infiltrasjonsgrøften forventes å ha minst like god renseseffekt som et sentralt rensedbasseng og tilfredsstillende høyt krav til rensing av overvann. Fordelene med den valgte løsningen er færre kummer og ledninger, man unngår bygging av sentral renseløsning, mindre drift på overvannssystemet og en mer kontrollert rensing av overvannet (nær kilden) (Åstebøl et al., 2008). Målinger av infiltrasjonskapasiteten i vegggrøft ved E6 Minnesund viste at denne var 7,5-27,5 cm/time ved overflaten (Åstebøl & Sundberg). Denne hadde vært i drift i 15 år. Infiltrasjonskapasiteten i filtermassen under overflaten var høyere og overflaten var derfor begrensende for infiltrasjonen.

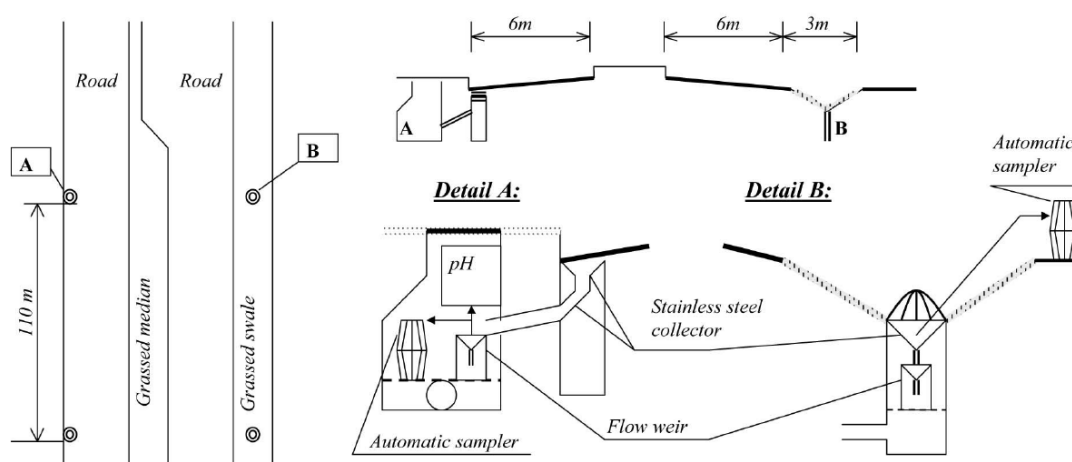
4 Modellering av vannføring i gresskledd vannveg langs med jevnt fordelt innløp langs siden

En modellering av en gresskledd vannveg kan brukes til å beregne hvordan den responderer på ulike hendelser. I dette avsnittet er det konstruert en modell for å beregne vannføring ut av en gresskledd vannveg langs en veg der det er et jevnt fordelt innløp langs hele lengden og nedbørsintensiteten varierer. Modellen bruker Green-Ampts likninger for å beregne infiltrasjonen og Mannings formel for å beregne vannføring. Alle beregningene utføres i Microsoft Excel.

4.1 Forsøksfelt

Bäckström et al. (M Bäckström et al., 2006) undersøkte evnen til å fange opp forurensninger i en gresskledd vannveg langs en veg i sentrum av Södra Hamnleden, Luleå, Sverige. Södra Hamnleden er en 4-felts veg med 8000 kjøretøy per dag som passer. To av feltene dreneres med gresskledd vannveger og de to andre har en tradisjonell løsning med kantstein og sluk. I studien ble vannføringen inn og ut av vannvegen overvåket under flere nedbørshendelser og målingene er gjengitt i diagrammer i artikkelen (M Bäckström et al., 2006). Vann renner fra vegen og inn i vannvegen langs hele lengden. Det er kuppelrister i bunn av vannvegen som fungerer som utløp. I den ene kuppelristen er det installert et v-overløp for å måle vannføringen ut. For å måle vannføring inn er det montert vannføringsmåler på motsatt side av vegen der det er kantstein og sluk. Vannvegen ble designet for rask transport av overvann framfor infiltrasjon og rensing av overvannet. Det er ingen underdrenering i vannvegen.

Innløp	Jevnt fordelt langs hele siden
Gradient i lengderetning	1 %
Sideskråning	1:7
Lengde	110 meter
Bredde top	2,7 meter



Figur 21 Skisse av gresskledd vannveg i Södra Hamnleden med måleutstyr. (M Bäckström, Viklander, & Malmqvist, 2006)

4.2 Data

Sødra Hamnleden ble valgt fordi det var den eneste studien med vannføringsmålinger i en gresskledd vannveg som ble funnet. Målingene er publisert som diagrammer i artikkelen (M Bäckström et al., 2006) og det er målinger for 7 forskjellige nedbørshendelser.

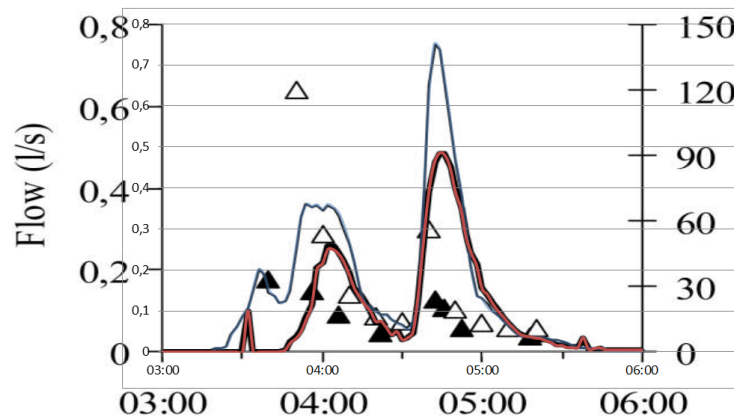
Hendelse	Dato	Varighet (t)	Mengde (cm)	Avrenning fra veg (m3)	Avrenning fra vannveg (m3)
1	25. mai, 2000	12	1,47	8,2	0,8
2	26. mai, 2000	7	1,32	4,3	2,6
3*	28. mai, 2000	6	0,27	0,8	0,2
4	13. juni, 2000	7	1,68	5,7	5,1
5	20. juni, 2000	6	0,39	1	0,6
6*	22. juni, 2000	4,5	0,67	1,5	1
7	23. juni, 2000	7	1,13	4,4	3,4

Figur 22 Beskrivelse av nedbørshendelser. Bäckström et al. (M Bäckström et al., 2006).

* Hendelse 3 og 6 ble brukt til å kalibrere

Data for vannføring ble skaffet ved å legge et Excel-diagram over et bilde av diagrammet for hver hendelse i studien og visuelt tilordne verdier.

03:20:00	0,009	3
03:22:00	0,009	3
03:24:00	0,015	5
03:26:00	0,045	13
03:28:00	0,062	10
03:30:00	0,088	13
03:32:00	0,105	13
03:34:00	0,155	17
03:36:00	0,2	19
03:38:00	0,19	15
03:40:00	0,15	12
03:42:00	0,136	13
03:44:00	0,12	12
03:46:00	0,126	13
03:48:00	0,165	17
03:50:00	0,25	23
03:52:00	0,33	24
03:54:00	0,36	23
03:56:00	0,355	22
03:58:00	0,359	22
04:00:00	0,348	21
04:02:00	0,36	22
04:04:00	0,353	22



Figur 23 Skjermbilde fra Microsoft Excel. Verdier for vannføringen ble funnet ved å legge et Excel-diagram over et bilde av diagrammet i studien og finne tilsvarende verdier

4.3 Modellutforming

Avrenning til veg (l/s) for hvert tidsintervall er inndata i modellen. Tidsintervallet varierer mellom 1 og 8 minutter for de forskjellige nedbørshendelsene. Det er antatt at vannføringen er stødig (steady-state) og uniform i hvert tidsintervall. For å få en nedbørsintensitet på formatet LT^{-1} (cm/s) er det antatt at man kan bruke den bredden i topp som oppstår hvis vannvegen fylles med det volumet avrenning som kommer i hvert tidsintervall. Denne nedbørsintensiteten brukes til å beregne infiltrasjonen i hvert tidsintervall.

Infiltrasjon i nedbør med varierende intensitet beregnes med Green-Ampt metoden med en infiltrasjon-dybde tilnærming, beskrevet av Tarboton (Tarboton, 2003). Flytskjemaet for

metoden er vist i Figur 24. Metoden bruker Formel 6, Formel 7 og Formel 10:

$$\text{Infiltrasjonsrate } f_c = K_{SAT} \left(1 + \frac{|\omega_f|(\varphi - \theta_0)}{F} \right) t_p \leq t \leq t_w$$

$\varphi = \text{porøsitet } \theta_0 = \text{vanninnhold ved start}$

$\omega_f = \text{Gjennomsnittlig tensjon ved metningsfronten}$

$K_{SAT} = \text{Mettet hydraulisk konduktivitet}$

$$\text{Kumulativ infiltrasjon ved gropmagasinerings } F_p = \frac{K_{SAT} |\omega_f| (\varphi - \theta_0)}{w - K_{SAT}} \quad w > K_{SAT}$$

Kumulativ infiltrasjon etter gropmagasinerings:

$$t - t_s = \frac{F - F_s}{K_{SAT}} + \frac{|\omega_f|(\varphi - \theta_0)}{K_{SAT}} \ln \left(\frac{F_s + |\omega_f|(\varphi - \theta_0)}{F + |\omega_f|(\varphi - \theta_0)} \right) \text{ Må løses implisitt for } F$$

For hvert tidsintervall beregnes mengden vann i vannvegen etter at infiltrasjonen er bestemt. Denne mengden bestemmes av hvor mye som var igjen i det forrige tidssteget, hvor mye som rant ut, hvor mye som infiltrerer og hvor mye som rant ut i det forrige tidssteget.

$$\text{Magasinerings } S_i [L^3] = V_{inn} - V_{innfiltrasjon} + S_{i-1} - V_{ut}$$

Med denne magasinerings finner man tverrsnitt og våt perimeter og bruker Formel 3 Mannings formel, til å beregne vannføringen ut. Som følge av gropmagasinerings tas det hensyn til et lagringsvolum som fanges opp i vannvegen og ikke har mulighet til å renne ut. For å kunne avgjøre hvor godt modellen passer til den observerte vannføringen blir Nash-Sutcliffes effektivitetskriterium brukt:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(Q_o - Q_s)^2}{\sum(Q_o - \overline{Q_o})^2}$$

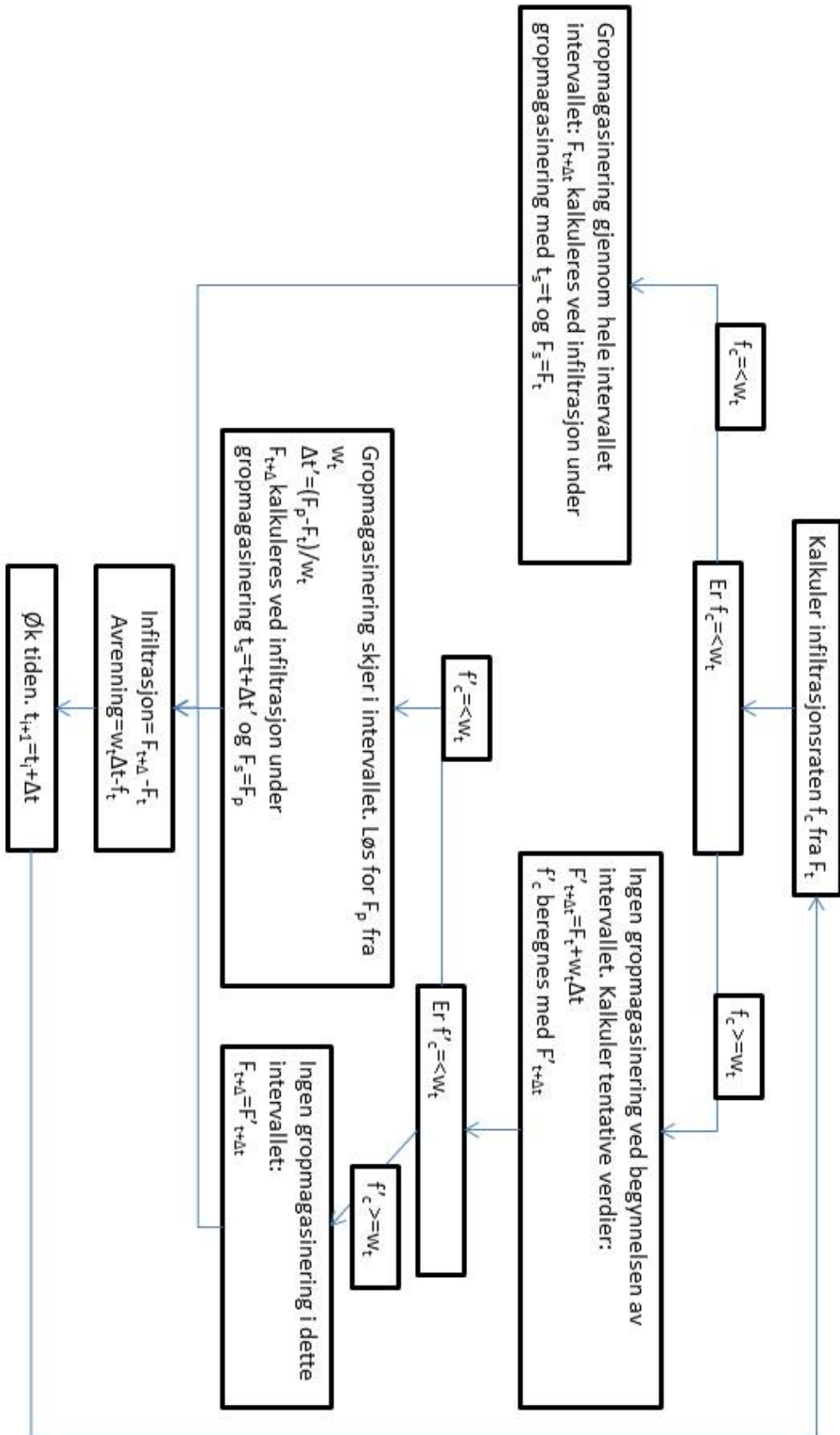
$$-\infty \leq E \leq 1$$

$Q_o = \text{Observert vannføring}$

$Q_s = \text{Simulert vannføring}$

$\overline{Q_o} = \text{Gjennomsnittlig observert vannføring}$

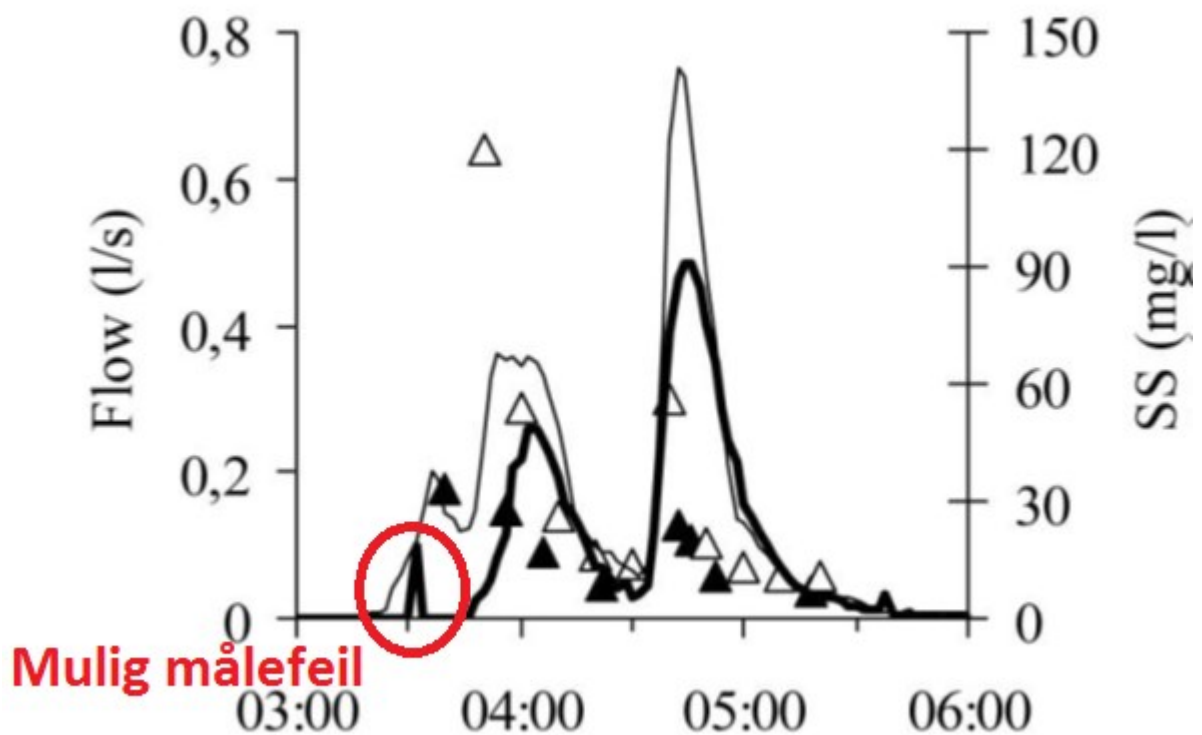
$R^2=1$ betyr at det er den simulerte og den observerte vannføringen er identisk, mens $R^2=0$ er like nøyaktig som gjennomsnittet av observerte vannføring.



Figur 24 Flytskjema for beregning av infiltrasjon med Green-Ampt metoden under varierende nedbørsintensitet. Oversatt til norsk etter (Tarboton, 2003)

4.4 Kalibrering

Hendelse 3 og 6 ble brukt til å kalibrere modellen. Hendelse 6 hadde en måleverdi i starten som så ukorrekt ut (tid:03:32, $Q_0=0,11/s$), men bortsett fra dette ble det ikke funnet flere åpenbare feil i målingen. Tilsammen har tidsseriene har en varierende vannføring med flere topper og perioder med lav vannføring, derfor ble de valgt. De andre tidsseriene ble reservert til validering av modellen. Det initielle vanninnholdet ble estimert til feltkapasiteten. Aller først ble det forsøkt med typiske verdier for forskjellige jordartsparmetre. Nødvendige jordartsparmetre er mettet hydraulisk konduktivitet (K_{sat}), distribusjonsindeks for porestørrelse (b), porøsitet (n), tensions høyde ved metningsfronten (ψ_f) og ved luftinntrenging (ψ_a). Det ble brukt verdier utarbeidet av Rawls et al. (Rawls, Brakensiek, & Miller, 1983) og Clapp & Hornberger (Clapp & Hornberger, 1978), begge gjengitt av Tarboton (Tarboton, 2003). Tilslutt ble det justert for ikke-drenerbar overflatelagring (S_{max}) og Mannings n -verdi.

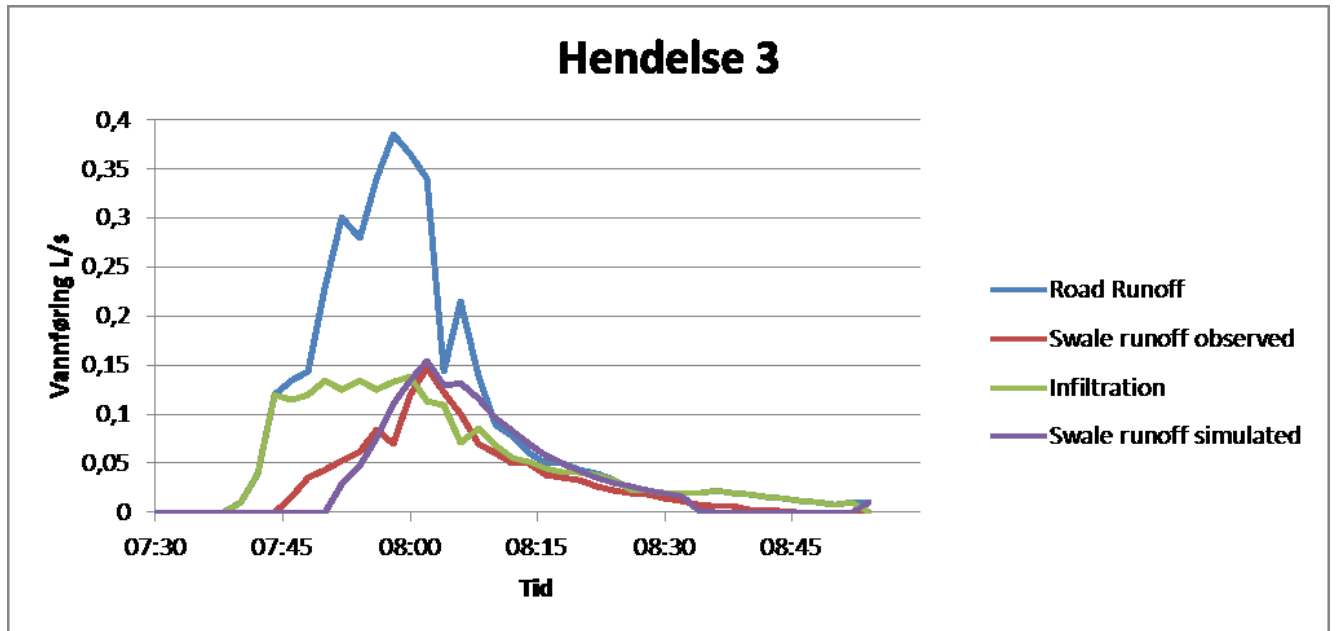


Figur 25 Mulig målefeil i hendelse 6

5 Resultater og diskusjon

5.1 Modellering

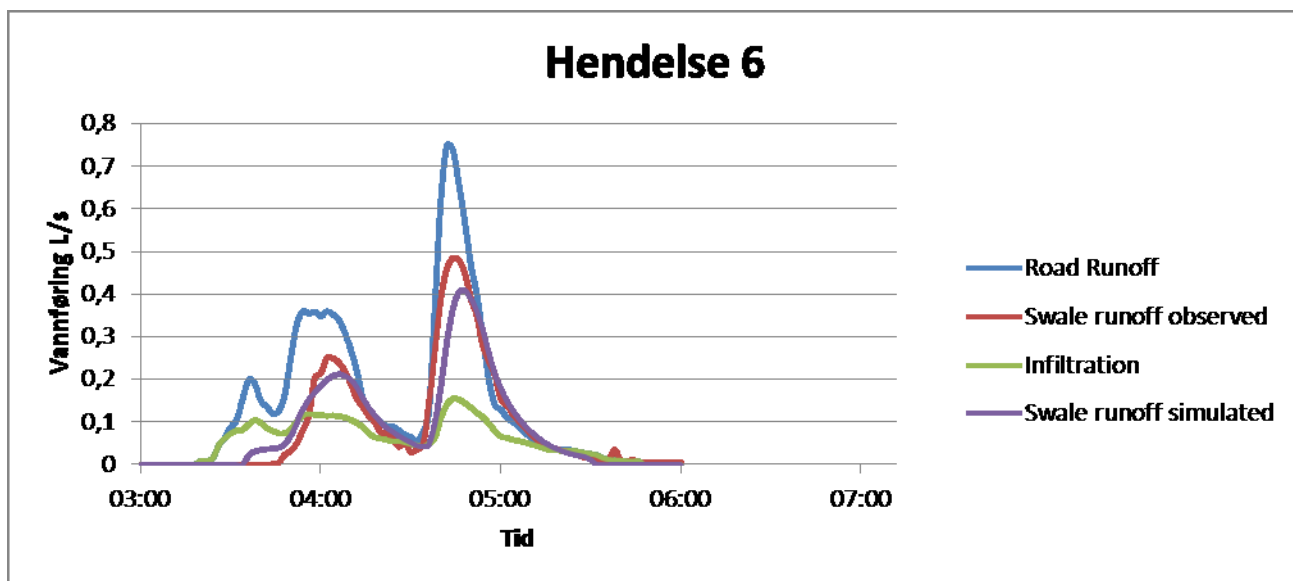
5.1.1 Kalibrering



Figur 26 Vannføring i hendelse 3

Kalibrerte verdier			Resultat		
θ_{fc}	0,19		Δt	2	min
$K(h)$	6,00	cm/h	Q_{avg}	0,03	l/s
n	0,44		$\sum(Q_s - Q_o)^2$	0,01	
ψ_f	4,95	cm	$\sum(Q_o - Q_{avg})^2$	0,06	
ψ_a	12,10	cm	R^2	0,82	
b	4,05		$\sum Inn$	465,00	L
ψ	-340,00	cm	$\sum Ut$	441,06	L
S_{max}	0,50	cm	Differanse $\sum Inn - \sum Ut$:	23,94	L
Mannings n	0,08		$100 - \text{Differanse} / \sum Inn * 100$:	94,85	%

Tabell 9 Verdier for hendelse 3 med 2 min tidsintervall



Figur 27 Vannføring i hendelse 6

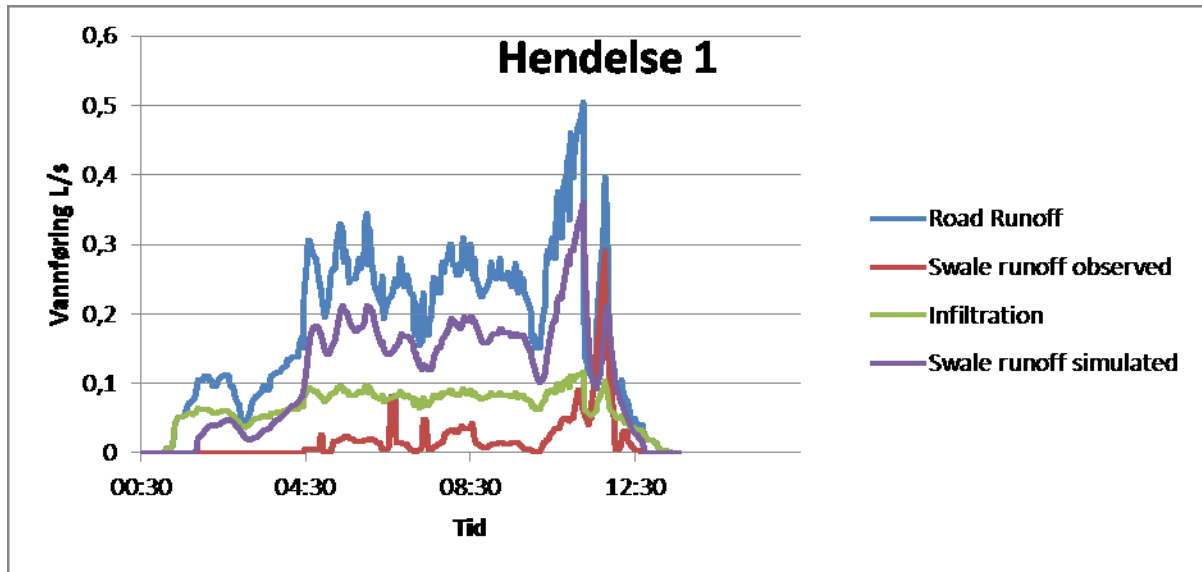
Kalibrerte verdier			Resultat		
θ_{fc}	0,19		Δt	2	min
$K(h)$	6,00	cm/h	Q_{avg}	0,09	l/s
n	0,44		$\sum(Q_s - Q_o)^2$	0,16	
ψ_f	4,95	cm	$\sum(Q_o - Q_{avg})^2$	1,42	
ψ_a	12,10	cm	R^2	0,88	
b	4,05		$\sum \ln n$	1535,46	L
ψ	-340,00	cm	$\sum U t$	1516,21	L
S_{max}	0,50	cm	Differanse $\sum \ln n - \sum U t$:	19,25	L
Mannings n	0,08		100-Differanse/ $\sum \ln n * 100$:	98,75	%

Tabell 10 Verdier for hendelse 6

Simuleringen ble gjort med 2 minutter tidsintervall og initiell vannmetning (θ_0) ble satt lik estimert feltkapasitet (θ_{fc}). For hendelse 6 ble $R^2=0,88$ og for hendelse 3 ble $R^2=0,82$. I hydrologisk modellering med HBV-modellen er det vanlig med R^2 -verdier innenfor 0,6-0,9 (Killingtveit & Sælthun, 1995), men HBV-modellen brukes på nedbørsfelt som er langt større enn det er snakk om i dette tilfelle. Likevel ble dette brukt som en referanse og R^2 -verdier på 0,88 og 0,82 ble vurdert som akseptabelt. Størst avvik er det i starten og for maksimalvannføringen. Verdier for jordartsparemetre lik de for sand, men med mettet hydraulisk konduktivitet nesten halvert (fra 11,78 til 6 cm/h) ga best tilpasning.

5.1.2 Validering

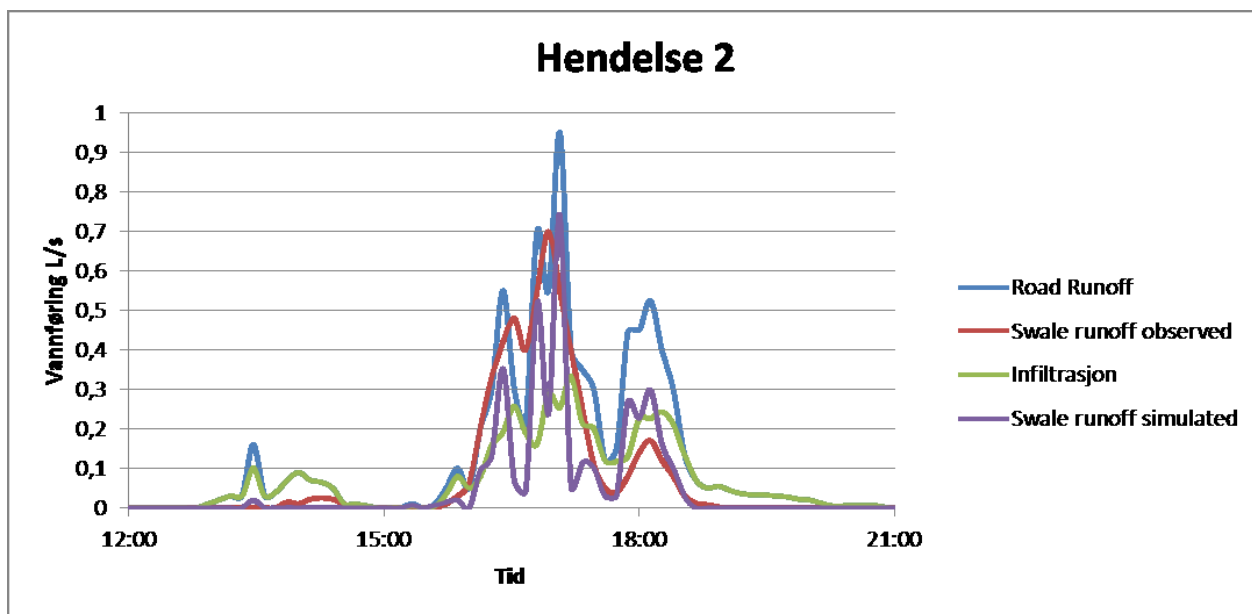
For å validere modellen er den brukt til å beregne vannføringen i de andre tidsseriene med de samme parametrene som ble funnet i kalibreringen.



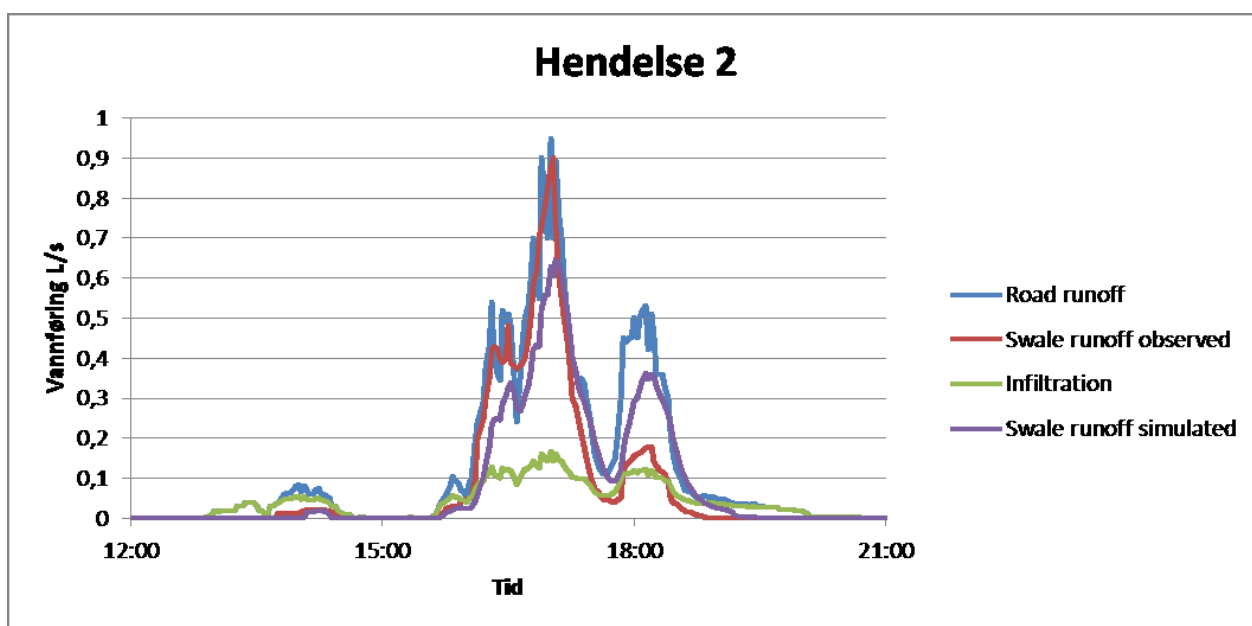
Figur 28 Vannføring i hendelse 1

Hendelse 1		
Δt	2	min
θ_{fc}	0,19	
Q_{avg}	0,00	l/s
$\sum(Q_s - Q_o)^2$	5,56	
$\sum(Q_o - Q_{avg})^2$	0,64	
R^2	-7,62	
$\sum Inn$	8259,72	L
$\sum Ut$	8240,47	L
Differanse $\sum Inn - \sum Ut$:	19,25	L
$100 - \text{Differanse} / \sum Inn * 100$:	99,77	%

Tabell 11 Verdier for hendelse 1

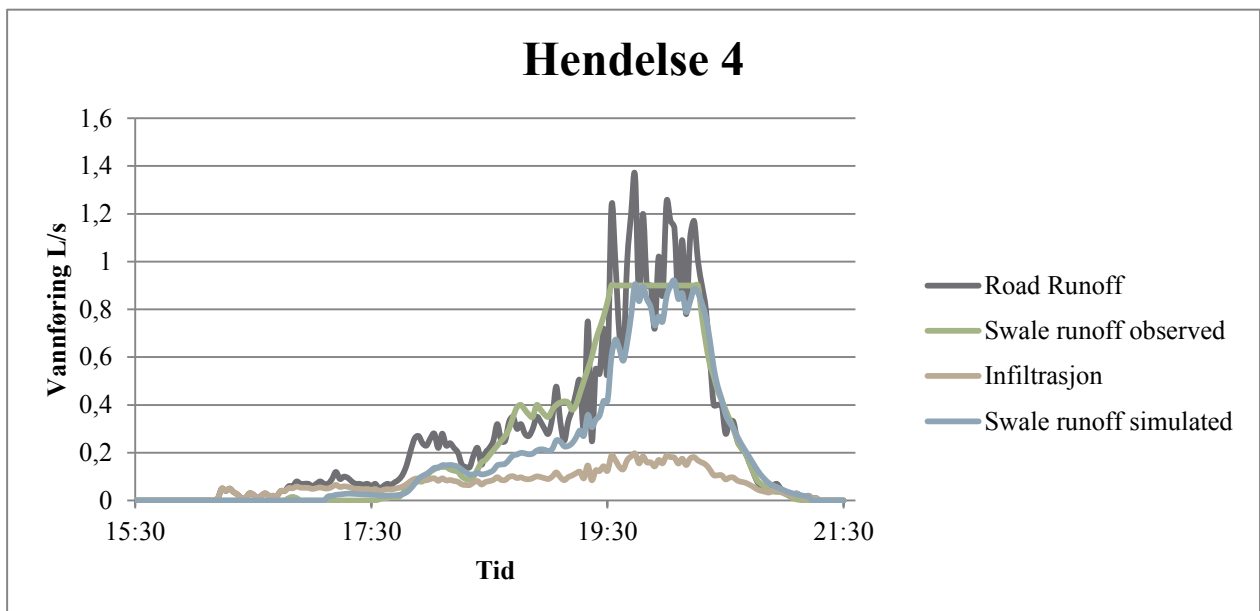


Figur 29 Vannføring i hendelse 2 med 8 min tidsintervall

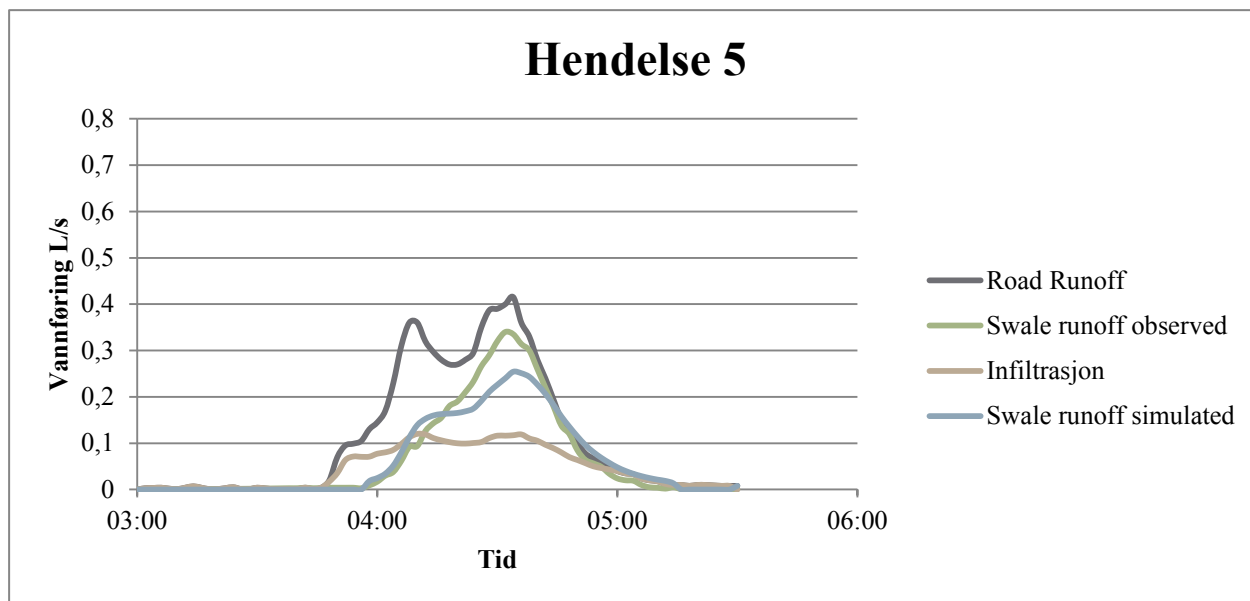


Figur 30 Vannføring i hendelse 2 med 2 min tidsintervall

Hendelse 2			Hendelse 2		
Δt	8	min	Δt	2	min
θ_{fc}	0,19		θ_{fc}	0,19	
Q_{avg}	0,08	l/s	Q_{avg}	0,08	l/s
$\sum(Q_s - Q_o)^2$	0,81		$\sum(Q_s - Q_o)^2$	1,56	
$\sum(Q_o - Q_{avg})^2$	1,72		$\sum(Q_o - Q_{avg})^2$	8,28	
R^2	0,53		R^2	0,81	
$\sum Inn$	4181,57	L	$\sum Inn$	4207,70	L
$\sum Ut$	4162,32	L	$\sum Ut$	4188,45	L
Differanse $\sum Inn - \sum Ut$:	19,25	L	Differanse $\sum Inn - \sum Ut$:	19,25	L
100-Differanse/ $\sum Inn * 100$:	99,54	%	100-Differanse/ $\sum Inn * 100$:	99,54	%



Figur 31 Vannføring i hendelse 4



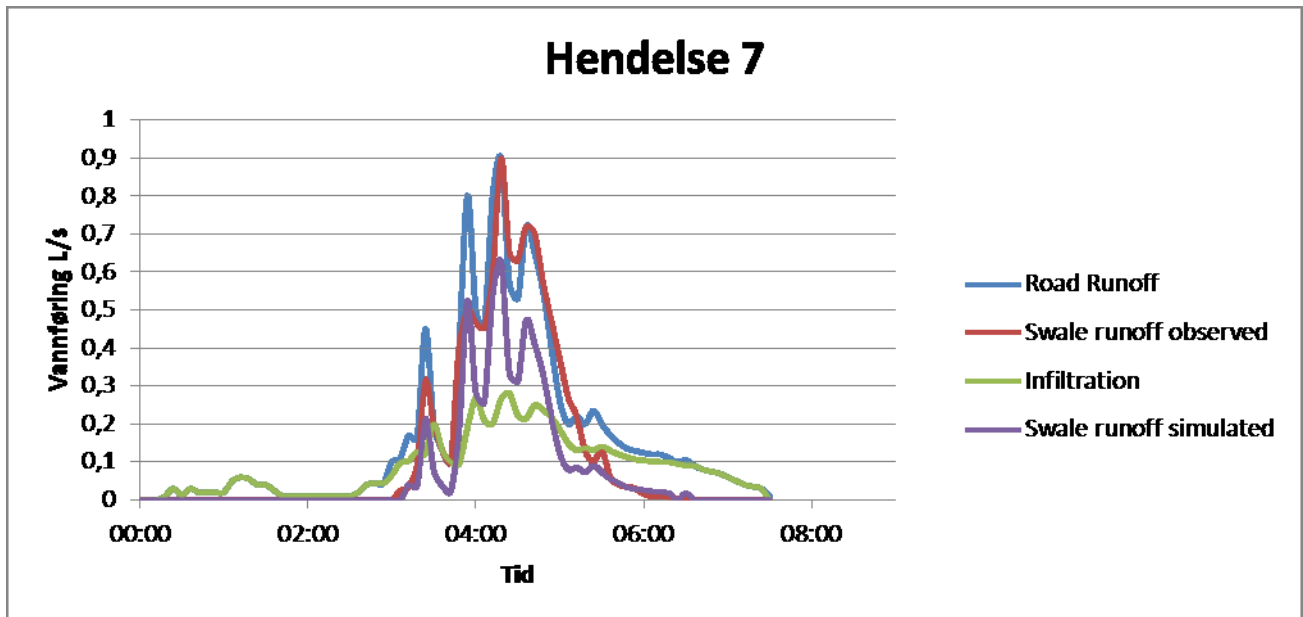
Figur 32 Vannføring i hendelse 5

Hendelse 4			Hendelse 5		
Δt	2	min	Δt	2	min
θ_{fc}	0,19		θ_{fc}	0,19	
Q_{avg}	0,23	l/s	Q_{avg}	0,07	l/s
$\sum(Q_s - Q_o)^2$	1,82		$\sum(Q_s - Q_o)^2$	0,06	
$\sum(Q_o - Q_{avg})^2$	17,95		$\sum(Q_o - Q_{avg})^2$	0,78	
R^2	0,90		R^2	0,92	
$\sum Inn$	5724,51	L	$\sum Inn$	1008,54	L
$\sum Ut$	5705,26	L	$\sum Ut$	989,29	L
Differanse $\sum Inn - \sum Ut$:	19,25	L	Differanse $\sum Inn - \sum Ut$:	19,25	L
100-Differanse/ $\sum Inn * 100$:	99,66	%	100-Differanse/ $\sum Inn * 100$:	98,09	%

Tabell 13 Verdier for hendelse 4 og 5

Hendelse 7		
Δt	6	min
θ_{fc}	0,19	
Q_{avg}	0,12	l/s
$\sum(Q_s - Q_o)^2$	0,83	
$\sum(Q_o - Q_{avg})^2$	3,71	
R^2	0,78	
$\sum Inn$	4495,68	L
$\sum Ut$	4476,54	L
Differanse $\sum Inn - \sum Ut$:	19,14	L
100-Differanse/ $\sum Inn * 100$:	99,57	%

Tabell 12 Verdier for hendelse 7



Figur 33 Vannføring i hendelse 7

Intensjonen med denne modelleringen var å etablere en modell som ga en sammenheng mellom vannføring inn og vannføring ut av en gresskledd vannveg, begrenset til tilfeller der innløpet er jevnt fordelt langs hele lengden. Å skaffe data ved å visuelt matche to diagrammer kan være en feilkilde og det ville vært mer nøyaktig å få tallverdiene direkte. Det ble vurdert som enklere å skaffe de på denne måten og nøyaktigheten ansees som god nok til det som var intensjonen. For å kvalitetssikre modellen videre bør ikke dette gjentas.

Hendelse 1 og 2 hadde dårligst sammenheng mellom den observerte og den simulerte vannføringen. Datoene for disse to var 25. og 26. mai, 2000. I forkant av dette hadde det vært en lengre tørkeperiode. Hendelse 1 og 2 ble først forsøkt simulert med henholdsvis 10 og 8 minutters tidsintervall på grunn av varieteten på nedbørshendelsene. De ble simulert på nytt med 2 minutters tidsintervall i et forsøk på å bedre resultatet. For hendelse 1 ble ikke resultatet brukbart. En negativ R^2 -verdi vil si at gjennomsnittet av observert vannføring gir en bedre sammenheng enn simulering. Simuleringen av hendelse 2 ble forbedret fra $R^2=0,53$ til $R^2=0,81$. Dette vurderes som betydelig og resultatet er brukbart. Simuleringen av hendelse 4, 5 ga gode resultater ($R^2 \geq 0,9$ for begge to). Det er mulig at den lange tørkeperioden i forkant av hendelse 1 er årsaken til at simuleringen ikke ga et brukbart resultat. Simulert vannføring ut er langt høyere enn den observerte vannføringen og dette betyr at infiltrasjonen må ha vært mye høyere. Det ser det derfor ikke ut som modellen passer til slike situasjoner.

Jordartsparemetrene matchet best med typiske verdier for sand, men ga best tilpasning når den hydrauliske konduktiviteten ble halvert. Dette kan skyldes at infiltrasjonstester foregår med stillestående vann og ikke tar hensyn til avrenningen som foregår i en swale. En annen mulighet er at porer i overflaten var blokkert av sedimenter eller at gressdekket var det begrensende laget.

Hendelse 7 ble simulert med 6 minutter tidsintervall og dette ga et brukbart resultat ($R^2=0,78$). For hendelse 2 og 3 var det nødvendig å redusere tidsintervallet for å få et brukbart resultat. Så lenge det er mulig å redusere tidsintervallet nok vurderes derfor modellen som brukbar. Selv om den ikke viste gode resultater når det har vært tørrvær i forkant vil situasjoner der infiltrasjonen er mindre og avrenningen øker være dimensjonerende. For å styrke troverdigheten bør den kalibreres/valideres ytterligere. For å få til dette er det nødvendig med mer data. Betydningen av tidsintervallet tilsier at disse bør ha høy oppløsning (2 minutter eller bedre).

Modellen begrenser seg til gresskledde vannveger med jevnt fordelt inntak av vann langs hele lengden. Den passer ikke til gresskledde vannveger med konsentrerte innløp i toppen. Dette er blant annet modellert av Deletic et al. (Deletic & Fletcher, 2006). Vannføringen er der beregnet med en kinematisk bølgelikning. Det er derfor mulig at modellen må forandres for å gi gode resultater. Andre studier av gresskledde vannveger viser at ytelsen er stedspesifikk og det vil være interessant hvordan underdrenering, filtermedia, ulike tverrsnitt, gradient, osv. påvirker resultatet.

En observasjon er at de gresskledde vannvegene forsinket tidspunktet for når første avrenning registreres og det totale volumet reduseres, men det er ingen forsinkelse sammenlignet med den tradisjonelle løsningen med kantstein og sluk når avrenning først har begynt. Dette kan skyldes at en del av vannet går inn i vannvegen like ved utløpet. Når det er lav vannføring er andelen infiltrert vann betydelig, men denne andelen reduseres veldig når vannføringen øker. Vannet må ha tid til å infiltrere og høy vannføring virker imot dette. Infiltrasjonen er høyest i starten, for hendelse 4, 5 og 6 infiltrerer 48-92% av av den 20% første delen av nedbøren.

Høyeste simulerte vannføring ga en høyde som var mindre enn 2,5 cm og den er derfor ikke testet på store vannføringer. I denne modelleringen ble Mannings n-verdi satt lik 0,08. Dette avviker fra verdiene i Figur 12 Mannings n-verdier for varierende vannedybde. Fra "Virginia Stormwater Management Handbook" (Virginia, 1999) Fordi ruheten endres med dybden er det ikke sikkert en forenkling med konstant ruhet gir gode resultater. Med stor vannføring er det heller ikke sikkert at antakelsen om uniform og stødig strømming er gyldig.

Basert på resultatet av denne kalibreringen/valideringen virker modellen lovende, men den har foreløpig begrenset bruksområde og bør styrkes med ytterligere testing.

5.2 Utforming av gresskledd vannveger

5.2.1 Geometri

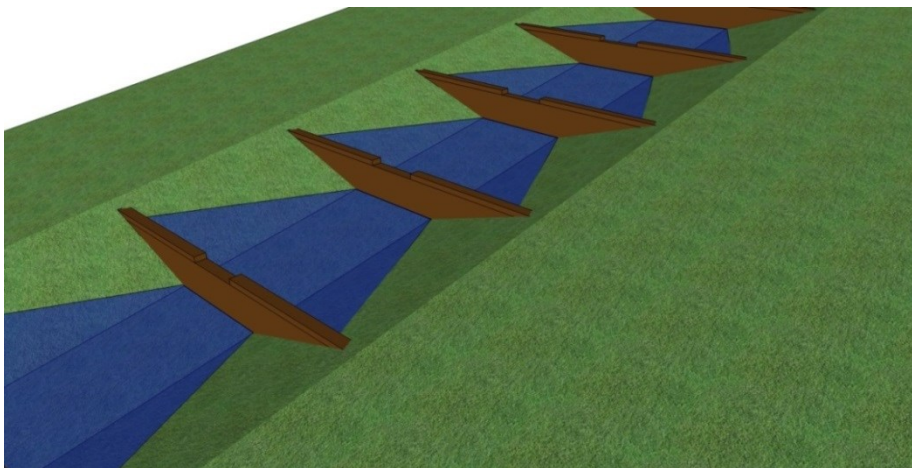
Tverrsnittet i gresskledd vannveger er brede og grunne. Dette gir en stor vannføring selv med liten høyde. Tverrsnittet blir derfor trapes- eller parabelformet. For å skape flatestrømming er bunnen ofte flat. Normal bredde på bunnen er mellom 0,5-2,5 meter for å kunne gi flatestrømming uten at det oppstår kanalisering. Sidekantene bør ikke være brattere enn 3:1 av hensyn til stabilitet og erosjon, men det anbefales at sidekanten ikke er brattere enn 4:1. Slake sidekanter bidrar til flatestrømming inn i vannvegen, større våt perimeter, lavere hastighet og mindre risiko for erosjon. Dette gir en bedre forbehandling hvis utformingen er ment å la vann renne inn i vannvegen fra kantene langs hele lengden. Vannvegen blir også lettere å vedlikeholde med slake sidekanter.

5.2.2 Gradient i lengderetning

Optimal gradient 1-3 %. Gradient innenfor dette intervallet hindrer stillestående vann, men gir likevel tilstrekkelig fordrøying av vannet. Maksimal gradient er 5 % for å forhindre erosjon. Vannveger med underdrenering har ikke noe minimumskrav til gradient.

5.2.3 Tiltak i terreng brattere enn 5%

I områder som har store gradienter er det mulig å konstruere terskeldammer eller trappetrinn. Terskeldammer bygges slik at foten av dammen oppstrøms er i samme høyde som toppen på dammen nedstrøms. Terskeldammer kan bygges opp av grove steinmaterialer, tømmerstokker, sviller eller planker eller løsmasser som såes til med gress. Nedstrøms bør dammen sikres mot erosjon, f.eks ved å plastre. Terskeldammen må forankres inn i sidene av vannvegen. For å unngå erosjon ved forankringen kan det lages en overløpskant. Nettingforsterking kan også brukes mot erosjon. Nettingforsterking legges i det øverste laget i jorda og forsterker gressrøttene. Maksimal tillatt hastighet kan da økes til 3 m/s.



Figur 34 Eksempel på plassering av terskeldammer. Foten av terskeldammen er i samme høyde som toppen på terskeldammen



Figur 35 Trappfall kan også brukes for å redusere hastigheten i bratt terreng. Foto: Tore Leland

5.2.4 Innløp

Vann kan ledes inn i vannvegen som flatestrømning langs hele siden eller i konsentrerte innløp.

Det er nødvendig med forbehandling for å hindre gjentetting av bunnen. Flatestrømning ned slake sidekanter fungerer som forbehandling. I konsentrerte innløp ved starten av vannvegen kan det bygges en terskeldam som forbehandling.

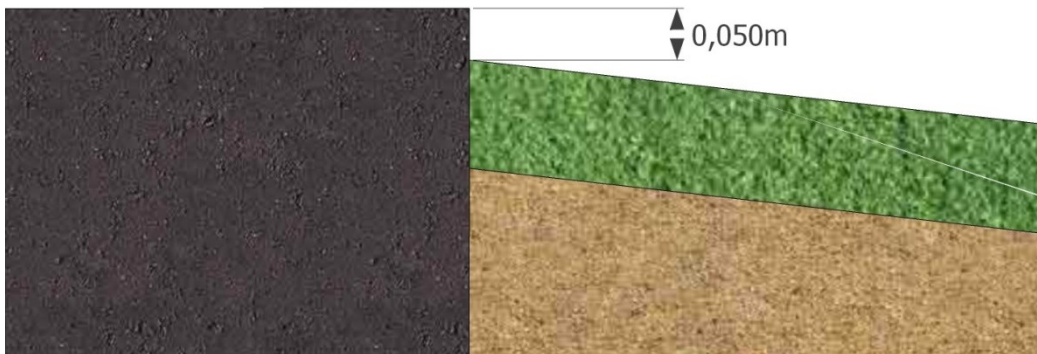
Konsentrerte innløp må erosjonssikres, dette gjelder også regelmessige konsentrerte innløp langs sidekantene og stikkrenner. Erosjonssikring kan gjøres med steinlegging eller betongplate. Langs veger bygges det etter hvert opp et lag med sedimenter i kanten. Dette kan holde tilbake vann i vegbanen og det oppstår konsentrerte innløp. For å forhindre dette bør det bygges en 50 mm terskel mellom asfaltkanten og sideskråningen hvis innløpet ikke er via konsentrerte innløp.

5.2.5 Utløp

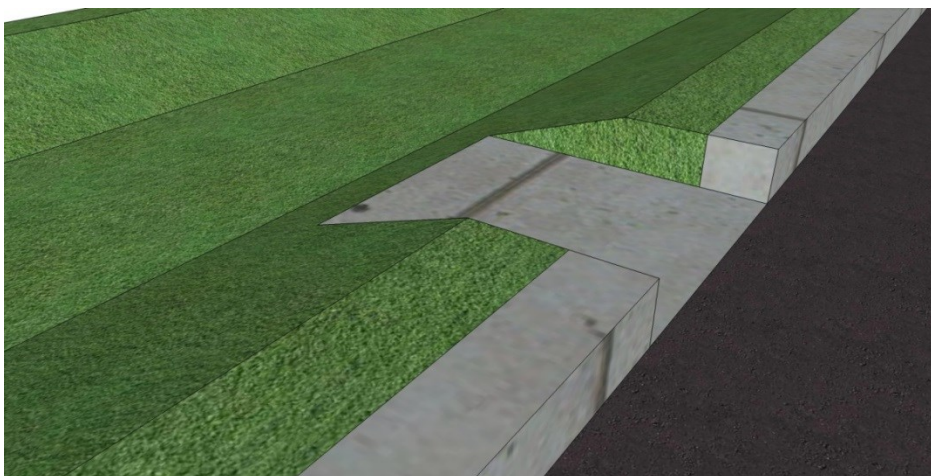
Utløp til bekk eller kanal må skje uten at det oppstår erosjon. Dette sikres på samme måte som innløpet. Det må også etableres overløp og behovet for en sikker flomvei bør vurderes. Utløpet kan være at vannvegen slutter i et område som kan oversvømmes eller innløpet til et annet overvannstiltak. Vannveger som er designet for at alt vannet skal lagres inntil det infiltrer trenger ikke noe utløp, men bør ha et overløp. Overløpet kan være inntak til drensledninger, f.eks en kuppelrist, som er hevet over bunnivået i vannvegen. Denne løsningen reduserer mengden slam og finpartikler som transporteres videre.



Figur 36 Erosjonsikring rundt stikkrenne med steiner. Foto: Tore Leland



Figur 37 Minimum 5 cm terskel fra asfalkant til sideskråning for å forhindre oppbygging av sedimenter



Figur 38 Erosjonsikring av innløp med betongplate



Figur 39 Utløpet til en gresskledd vannveg ender i et sedimenteringskammer for et regnbed på Risvollan. Foto: Arvid Ekle



Figur 40 Kuppelrist hevet over grøftebunnen. Foto: Tore Leland

5.2.6 Vegetasjon

Vegetasjonen bør bestå av et tett gressdekke som er vanntolerant og erosjonsdyktig. Virginia Stormwater Manual lister opp en del kriterier for vegetasjonen:

- Dypt rotsystem som hindrer utvasking
- Høy stilketetthet
- Toleranse mot oversvømmelse
- Motstand mot å bøyes ned av strømmende vann
- Evne til å gjenoppta vekst etter oversvømmelse

Hensikten med vegetasjonsdekket er å oppnå erosjonskontroll, lavere vannhastigheter og en renseseffekt. Vegetasjonsdekket bør derfor også være motstandsdyktig mot forurensningen som kan tilføres vannvegen.

5.2.7 Filterlag

Det er mulig å bruke et skreddersydd filtermateriale der de stedlige massene er lite permeable. Dette filtermediumet anbefales å ha en infiltrasjonshastighet på minimum 10 cm/time. Gressdekke vil ofte være det begrensende laget for infiltrasjonshastigheten og det gir ikke mening å ha et filtermedium med høyere hydraulisk konduktivitet enn dette. Filtermediumet består typisk av sand og kan iblandes organisk materiale (kompost) for å forbedre egenskapen til å holde igjen forurensninger. Filterlaget bør være minst 40 cm dypt. For å forbedre infiltrasjonen ytterligere kan det legges inn underdrenering.

5.2.8 Sikkerhet

- Liten vanddybde og slake sidekanter gir få sikkerhetsutfordringer med gressklede vannveger.
- Gressklede vannveger tåler ikke å bli kjørt på. Kantene kan forsterkes med steinsetting eller tilgangen kan hindres med f.eks. kantstein, gjerder og steiner.



Figur 41 Kantstein med åpning i bunn.
Foto: Tore Leland



Figur 42 Forsterking av kanter med belegningsstein. Foto: Tore Leland

5.2.9 Underdrenering

Underdrenering er et tiltak som kan øke infiltrasjonen. Drensledningen bør være minst 100 mm og legges i et 300 mm drenerende lag (f. eks. pukkk). Drensledningen må dimensjoneres til å bortlede alt vannet som infiltrerer i den gresskledd vannvegen.

5.2.10 Kulvert/Stikkrenner

For å krysse veier er det nødvendig å benytte kulverter eller stikkrenner. Disse må dimensjoneres for å ta unna den samme vannføringen som den gresskledd vannvegen, men det er viktig at disse ikke blokkeres, f.eks av is og snø, søppel, løv, kvister og lignende. I Statens Vegvesen Håndbok 018 er det angitt minimumsdimensjoner som bør følges. Kulverter/stikkrenner bør legges med minst 1 % fall for å sikre tilstrekkelig gjennomrenning.

Vegtype	Minimumsdimensjon (innvendig diameter)
	Uten kummer
Hovedveg, samleveg	600 mm
Adkomstveg, gang- og sykkelveg	400 mm
Avkjørsler	300 mm

Figur 43 Anbefalt minimumsdimensjon, stikkrenner. Fra Statens Vegvesen Håndbok 018 Vegbygging



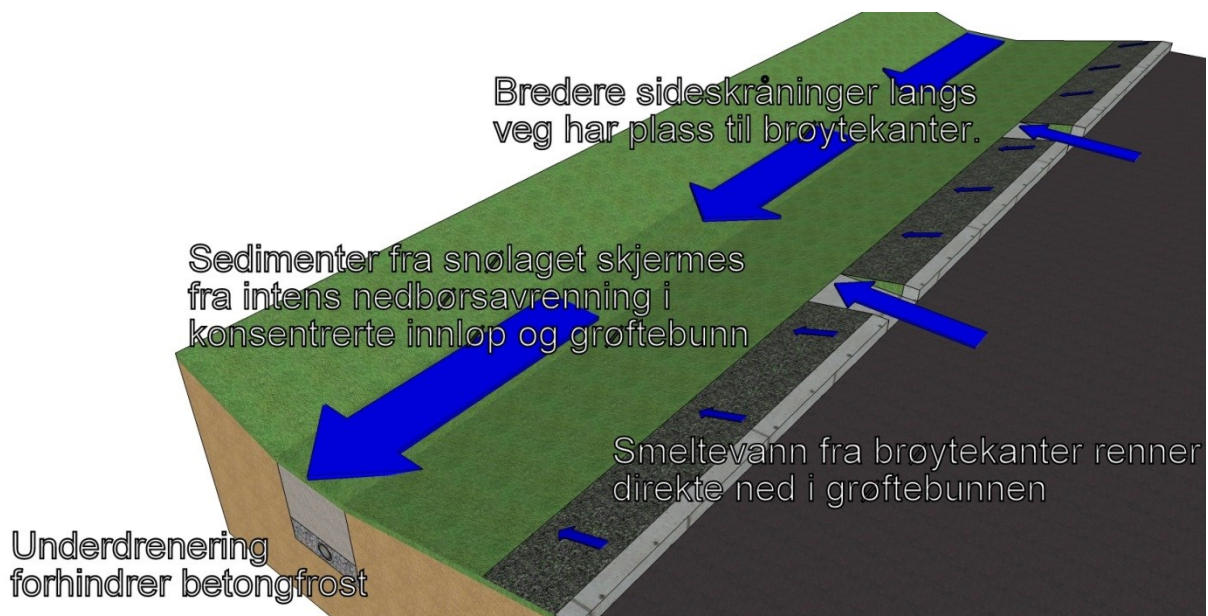
Figur 44 Stikkrenner er et kritisk punkt. Dersom den hydrauliske kapasiteten ikke er tilstrekkelig kan det oppstå oppstuvning og oversvømmelse. Foto: Tore Leland

5.2.11 Gresskledd vannveger i kaldt klima

Om vinteren er gresskledd vannveger et pålitelig transportsystem fordi det består av få kritiske punkter. Fordi det er en åpen overvannsløsning er blokkeringen lett tilgjengelig og smeltevannet blir stående i vannvegen istedenfor i gater og veger der det hindrer fremkommeligheten. Derfor er også tiltaket godt egnet som snølager. Frossen mark infiltrerer vann så lenge vanninnholdet er lavt før det fryser til. Gresskledd vannveger som skal fungere godt i kaldt klima bør derfor ha god drenering.

Muligheten for å bruke gresskledd vannveger som snødeponier gjør det til et verdifullt tiltak. Vannvegen transporterer smeltevannet videre i systemet og reduserer smeltevannsvolumet ved infiltrasjon. Grove partikler forblir i stor grad igjen i vannvegen som et tykt sedimentlag fordi smeltevannsføringen ikke har nok intensitet til å transportere dem. Dette kan likevel skje hvis det inntreffer langt mer intense nedbørshendelser etter at snøen er forsvunnet. I områder med sterkt forurenset snø, som langs høyt trafikkerte veger bør sideskråningene ha tilstrekkelig bredde til å lagre brøytekanter. Dette er for å hindre nedbørsavrenningen i å strømme over sedimentene. Sedimentene tetter også igjen overflaten, så denne praksisen vil ha en positiv effekt på infiltrasjonen.

Gresskledd vannveger klarer ikke å holde tilbake veisalt.



Figur 45 Tilpasning til kaldt klima

5.2.12 Planlegging

5.2.12.1 *Bruksområder*

Gresskledde vannveger brukes til bortledning ved å fange opp avrenningen fra et bestemt område og lede dette til neste ledd i overvannsystemet. Eksempler på dette kan være avrenning fra tak som ledes til et regnbed. Grøfter langs veg kan utformes som gresskledde vannveger og lede til fordrøyningsdammer. Gresskledde vannveger kan erstatte sluk og bortledning i lukkede rør langs gater. Mange oppbygde midtrabatter med kantstein har mulighet til å «vrenses», dvs. å bytte ut disse med en gresskledd vannveg. I stedet for at overvann renner tilbake i kjørebane og ned i et sluk blir det værende og infiltrerer eller ledes bort. Gresskledde vannveger kan ettermonteres hvis det er behov for å oppgradere overvannssystemet. Deler av overvannet infiltrerer på stedet og overskuddet ledes til eksisterende nett. Ved å plassere terskeldammer og/eller heve utløpet over grøftebunnen kan man øke vannmengden som fordrøyes.



Figur 46 Ettermontering av en gresskledd vannveg på en parkeringsplass i Reykjavik, Reykjavik, Island. Foto: Tore Leland

5.2.12.2 *Begrensninger*

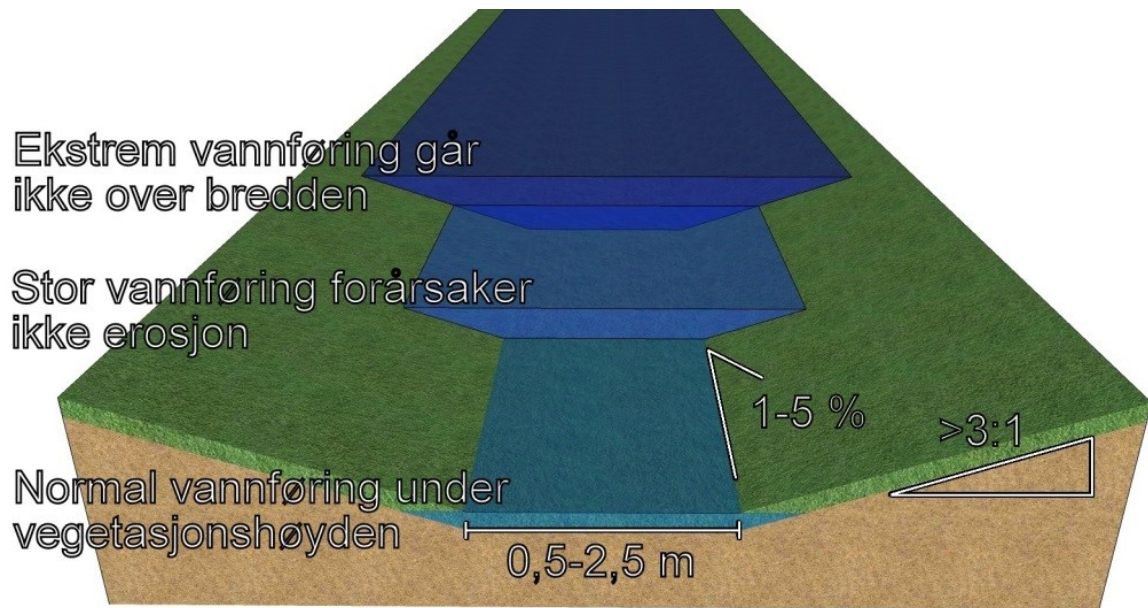
Gresskledde vannveger er normalt begrenset til mindre nedbørsfelt (5 ha eller mindre) fordi tiltaket ellers blir veldig omfattende. I bratt terreng blir det også vanskelig å redusere hastigheten tilfredsstillende uten store tiltak. Det er fordelaktig om de stedlige massene er godt drenerbare. Gresskledde vannveger legger beslag på arealer, normalt 5-10% av nedbørsfeltet. Dersom området er veldig tett bebygd kan det være problematisk å finne plass. Man må også vurdere virkningen av infiltrasjon på stabiliteten til fundamenter, landkar og vegger.

Variabel rensegrad gjør at gresskledde vannveger ikke er pålitelige tiltak for å sikre vannkvaliteten med mindre de utformes for å fordrøye og infiltrere overvannet. Volumet må da bestemmes som for en overvannsdam. Dette er beskrevet i VA-miljøblad 69(Lindholm, 2008). Utløpsverdien settes da lik infiltrasjonskapasiteten.

5.2.12.3 *Anlegging av gresskledd vannveger*

- Vurder området der en gresskledd vannveg skal brukes.
 - Vurder nedbørsfeltets størrelse. For nedbørsfelt større enn 5 ha blir tiltaket veldig omfattende.
 - Vurder om det er tilgjengelige arealer til å anlegge en gresskledd vannveg
 - Vurder terrenget og behov for tiltak i bratte partier. Dersom gradienten blir større enn 5% må det gjøres vannhastighetsreduserende tiltak. Veldig flatt terreng kan utløse behov for underdrenering (<1 %)
 - Vurder om det er behov for underdrenering på grunn av underliggende impermeable masser
 - Vurder virkningen av å infiltrere overvann og om det kan oppstå usikkerhet rundt stabiliteten i veger, fundamenter og landkar
- Bestem linjeføringen for den gresskledd vannvegen. Linjeføringen har stor påvirkning på den estetiske oppfatningen og landskapsarkitekter bør involveres. Det bør også koordineres mot andre fagområder som kan påvirke utformingen og funksjonen, f.eks. anleggsgartner, VA ingeniør og vegingeniør.
- Vurder behovet for rensing og bestem volumet som skal fordrøyes for å infiltrere eller avrenningen der vannkvaliteten skal forbedres fra en dimensjonerende nedbørshendelse.
- Hvis infiltrasjonskapasiteten skal økes, bytt ut stedege masser med filtermedium og underdrenering. anbefalt minimumsverdi er 10 cm/timen. Filterets dybde bør være større enn 40 cm. Sandig jord med hagekompost og evt. litt god lokal matjord er egnet som filtermedium. Underdreneringen bør være minst 100 mm og legges i et 300 mm drenerende lag (f.eks puk)(Minnesota, 2008).
- Dersom den gresskledd vannvegen skal fordrøye og infiltrere avrenningen kan hevede utløp og terskeldammer plasseres for å skape et bestemt volum som lagres. Maksimal vannhøyde bør ikke være høyere enn 45 cm og alt vannet må infiltrere iløpet av 24-48 timer.
- Avrenningen fra en dimensjonerende normal nedbørshendelse som skal forbedre vannkvaliteten skal passere under vegetasjonshøyden med en hastighet lavere enn 0,15 m/s og en teoretisk hydraulisk oppholdstid på mer enn 9 minutter.
- Bestem avrenningen fra en stor nedbørshendelse som skal passere uten at det oppstår skader fra erosjon utifra en risikoanalyse. Norsk Vann Rapport 162 (Lindholm et al., 2008) har anbefalte minimumsverdier for dimensjonerende hyppigheter for forskjellige plasseringer. Erosjon i gresskledd kanaler oppstår når hastigheten blir større enn 1,2-1,5 m/s (Claytor & Schueler, 1996).
- Bestem avrenningen fra en ekstrem nedbørshendelse som skal passere uten at den gresskledd kanalen flommer over. Det bør være minimum 8 cm fra denne dybden og opp til kanten på vannvegen.
- I bratte partier kan det installeres terskeldammer eller trappfall for å redusere hastigheten.
- Innløp og utløp må utformes slik at det ikke oppstår erosjon. Innløpet kan være spredt innløp langs hele siden, konsentrerte punkter langs siden eller som et konsentrert

innløp i toppen. Konsentrerte innløp bør derfor steinlegges. Sidekantene bør ikke være brattere enn 3:1 for å hindre erosjon, uavhengig av type innløp.



Figur 47 Dimensjonering av gresskledd vannveg

5.2.13 Drift og vedlikehold

- Vegetasjon
 - Gresset må vedlikeholdes slik at det er tett og frodig. Regelmessig klipping er nødvendig. Områder uten gress må repareres og nytt gressdekke etableres.
- Fjerning av rusk og søppel
 - Rusk og søppel kan forstyrre hydraulikken, endre flombaner slik at det oppstår konsentrerte vannløp og erosjon og blokkere innløp/utløp/kulverter
- Sedimentfjerning
 - Akkumulerte sedimentlag kan være sterkt forurenset, hindre gress i å vokse og tette overflaten slik at infiltrasjonen reduseres. Sedimenter som blir liggende igjen i bunnen er ikke «fjernet», de er tilbakeholdt og har mulighet for å resuspendere.
- Erosjonsskader må repareres.

5.3 Fordeler og ulemper med gresskledd vannveger

5.3.1 Fordeler

- Kan erstatte overvannsledninger
- Knytter forskjellige LOD-tiltak sammen og reduserer belastningen ved å redusere maksimal vannføring, volum og total masse forurensninger
- Det grunne, brede tverrsnittet forenkler vedlikehold
- Passer godt langs veger, slake sidekanter gir økt trafiksikkerhet.
- Kan fungere som snødeponi der vannvegen ikke skal håndtere flomvann
- Godt egnet til å fange opp avrenning fra eiendommer og veger
- Mulig å ettermontere for å oppgradere overvannshåndteringen

5.3.2 Ulemper

- Vanskelig å benytte i bratt terreng
- Kan oppstå erosjonsproblemer
- Arealbeslag og eventuelt filtermedium med underdrenering kan være fordyrende
- Manglende erfaring i norsk klima mht. anlegging funksjon og driftskostnader.
- Plenklipping med tunge traktorklippere kan skade gressdekket når jorda er fuktig
- Varierende renseeffekt gjør at gresskledd vannveger ikke er egnet som eneste rensesiltak med mindre den utformes for å fordrøye og infiltrere avrenningen.

5.4 Beregningseksempel

Gresskledd vannveger skal brukes i overvannshåndteringen av nytt boligområde i Trondheim. Boligområdet skal bestå av rekkehus. Nedbørsfeltet er på 0,62 ha (6200 m²) i et ganske flatt område. Forslaget er en gresskledd vannveg på 250 meter. Gradienten i lengderetning er 1 % og skråningen i sidekantene er 3:1. Avrenningskoeffisienten er 0,4. Underliggende masser er lite permeable, så det legges inn et 40 cm filtermedium med underdrenering.

5.4.1 Beregning av vannkvalitetsvolum:

I Trondheim kan vannkvalitetsvolumet beregnes som avrenningen fra 12,5 mm nedbør (Bakken, 2013).

Vannkvalitetsvolumet beregnes som:

$$VKV = \frac{\phi * P * A}{1000} [m^3]$$

$$\phi = \text{Avrenningskoeffisient}$$

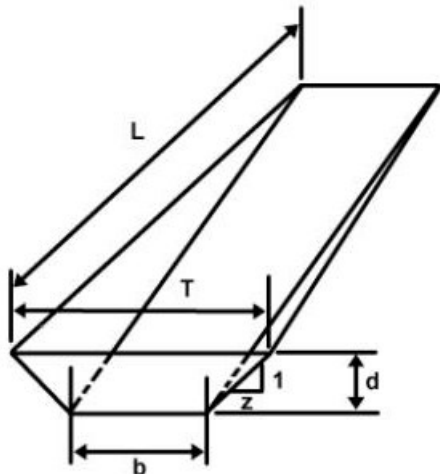
$$A = \text{Nedslagsfeltets areal} [m^2]$$

$$P = \text{Nedbør} [mm]$$

$$VKV = \frac{0,4 * 12,5 \text{ mm} * 6200 \text{ m}^2}{1000 \frac{mm}{m}} = 31 \text{ m}^3$$

5.4.2 Alternativ 1: Avrenning fra en normal nedbørshendelse skal fordrøyes og infiltrere i vannvegen innen 24 timer

Den gresskledd vannvegen skal kunne fordrøye og infiltrere avrenningen innen 24 timer.



Figur 48 Trapeformet gresskledd vannveg

Volumet i en trapesformet gresskledd vannveg er gitt som:

$$V = \frac{d^2 z L}{3} + \frac{d b L}{2} \quad z=3 \quad d=25 \text{ cm}$$

Det forsøkes med en bunnbredde $b=0,5$ m og 25 cm terskeldammer. Arealet i grøftebunnen blir da 125 m^2 .

Terskeldammene plasseres slik at foten er i samme høyde som toppen på neste terskel.

$$L = 0,25 \text{ m} / 0,01 = 25 \text{ m}$$

$$V = \frac{(0,25 \text{ m})^2 * 3 * 25 \text{ m}}{3} + \frac{0,25 \text{ m} * 1 \text{ m} * 25 \text{ m}}{2}$$

$$V = 3,13 \text{ m}^3$$

Fordi den gresskledd vannvegen er 250 meter lang er det plass til 10 slike seksjoner.

$$V_{TOT} = V * 10 = 31,25 \text{ m}^3$$

$V_{TOT} > VKV$ Dimensjonen er stor nok til å lagre vannkvalitetsvolumet

5.4.3 Alternativ 2: Avrenning fra en normal nedbørshendelse skal renne gjennom den gresskledd vannvegen under vegetasjonshøyden.

Den gresskledd vannvegen skal transportere avrenningen til et rensiltak nedstrøms.

Vannvegen skal fungere som en avlastning ved å fordrøye og infiltrere deler av overvannet.

Dimensjoneringskriteriet er at avrenningen skal skje under vegetasjonshøyden og hastigheten skal ikke være større enn $0,15 \text{ m/s}$.

Vannkvalitetsvolumet på 60 minutter benyttes som designstorm for en normal nedbørshendelse.

$$I = \frac{12,5 \text{ mm}}{60 \text{ min}} = 34,7 \frac{l}{s \text{ ha}}$$

Den rasjonelle metode brukes til å beregne avrenningen fordi nedbørsfeltet er lite (<20 ha).

$$Q = \varphi * I * A = 0,4 * 0,62 \text{ ha} * 34,7 \frac{\text{l}}{\text{s ha}} = 8,6 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Det antas at vegetasjonshøyden er 10 cm. Mannings formel brukes til å beregne størrelsen på vannvegen.

$$Q = A * \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}}$$

$$A = b * d + d^2 * z \quad d = 0,1 \text{ m} \quad z = 3 \quad I = 0,01$$

$$P = b + 2 * \sqrt{d^2 + (z * d)^2} \quad R = \frac{A}{P}$$

Mannings formel itereres til kapasiteten er tilfredstillende ($Q > 8,6 \text{ l/s}$) ved å endre bunnbredden b. Mannings n-verdi finnes fra Figur 12.

Tabell 14 Beregnet vannføring når bredden er 0,5 meter

n	d [m]	A [m ²]	P [m]	R [m]	Q [l/s]	v [m/s]
0,15	0,1	0,08	1,13	0,07	9,11	0,11
0,14	0,11	0,09	1,20	0,08	11,41	0,12
0,14	0,12	0,10	1,26	0,08	14,11	0,14
0,13	0,13	0,12	1,32	0,09	17,28	0,15
0,13	0,14	0,13	1,39	0,09	20,98	0,16
0,12	0,15	0,14	1,45	0,10	25,30	0,18
0,114	0,16	0,16	1,51	0,10	30,36	0,19
0,11	0,17	0,17	1,58	0,11	36,28	0,21
0,10	0,18	0,19	1,64	0,11	43,21	0,23
0,10	0,19	0,20	1,70	0,12	51,37	0,25
0,09	0,2	0,22	1,76	0,12	61,00	0,28
0,08	0,21	0,24	1,83	0,13	72,42	0,31
0,08	0,22	0,26	1,89	0,13	86,07	0,34
0,07	0,23	0,27	1,95	0,14	102,51	0,37
0,07	0,24	0,29	2,02	0,15	122,50	0,42
0,06	0,25	0,31	2,08	0,15	147,14	0,47
0,05	0,26	0,33	2,14	0,16	177,98	0,53
0,05	0,27	0,35	2,21	0,16	217,37	0,61
0,04	0,28	0,38	2,27	0,17	268,98	0,72

Når dybden er 10 cm er vannføringen 9,11 l/s og hastigheten er 0,11 m/s. Dimensjonene er OK.

5.4.4 Alternativ 2: Avrenning fra en stor nedbørshendelse skal ikke skape erosjon i vannvegen

Den gresskledde vannvegen i alternativ 2 dimensjoneres videre. Det foreslås at nedbør med 10 års gjentaksintervall ikke skal skape erosjon i vannvegen. Den rasjonelle metode brukes til å beregne avrenningen. Det antas at tilrenningstiden på overflaten er 3 minutter.

$$\text{Beregnet strømmingstid i ledningen: } t = \frac{250 \text{ m}}{1,2 \text{ m/s}} = 3,5 \text{ min}$$

$$I = 209,34 \frac{l}{s \text{ ha}} \quad t_c = 3 + 3,5 = 6,5 \text{ min}$$

$$Q = \varphi * I * A = 0,4 * 0,62 \text{ ha} * 209,34 \frac{l}{s \text{ ha}} = 52 \frac{l}{s}$$

Vannføringen ved nedbørshendelse med 10 års gjentaksintervall er 52 l/s med antatt konsentrasjonstid på 6,5 minutter

Dimensjoneringskriteriet er maksimal tillatt hastighet. $v_{maks} = 1,2 \text{ m/s}$

Vannføringen er allerede beregnet i Tabell 14.

Når vanddybden er 0,2 meter er vannføringen 61 l/s og hastigheten er 0,28 m/s. 0,28m/s er mye lavere enn den antatte hastigheten på 1,2 m/s. Dette betyr at konsentrasjonstiden er høyere enn først antatt og intensiteten for en nedbørshendelse med 10 års gjentaksintervall er lavere. Denne nedbørshendelsen forårsaker uansett ikke erosjon i den gresskledde vannvegen og det er ikke nødvendig med nye beregninger.

5.4.5 Alternativ 2: Den gresskledde vannvegen skal ha kapasitet til å lede avrenningen fra en ekstrem nedbørshendelse uten oversvømmelse

Den gresskledde vannvegen i alternativ 2 dimensjoneres videre. Avrenningen fra en ekstrem nedbørshendelse skal ledes gjennom den gresskledde vannvegen med minst 8 cm dekkhøyde. Det foreslås nedbør med 20 års gjentaksintervall. Det antas en hastighet på 0,2 m/s i ledningen.

$$\text{Beregnet strømmingstid i ledningen: } t = \frac{250 \text{ m}}{0,2 \text{ m/s}} = 20,8 \text{ min}$$

$$I = 104 \frac{l}{s \text{ ha}} \quad t_c = 3 + 20,8 = 23,8 \text{ min}$$

$$Q = \varphi * I * A = 0,4 * 0,62 \text{ ha} * 104 \frac{l}{s \text{ ha}} = 25,8 \frac{l}{s}$$

Avrenningen ved en nedbørshendelse med 20 års gjentaksintervall er 25,8 l/s med antatt konsentrasjonstid på 20, 8 minutter.

Vannføringen sjekkes mot dybden i Tabell 14. Ved en dybde på 0,16 meter er kapasiteten 30, 36 l/s. Ved å legge til 8 cm dekkhøyde blir minimumshøyden 24 cm. Kapasiteten i den gressklede vannvegen er da 122,5 l/s. Bredden på denne gressklede vannvegen blir 1,94 meter med sideskråningene. Med en lengde på 250 meter blir overflatearealet 485 m².

$$\frac{485 \text{ m}^2}{6200 \text{ m}^2} = 7,8 \%$$

Den gressklede vannvegen legger beslag på 7,8 % av nedbørsfeltet.

5.4.5.1 *Trondheim 1.april 1997*

På Risvollan Urbanhydrologiske målestasjon ble det 1. april 1997 målt 6 mm på 5 minutter i nedbørsmåleren, mens snøsmeltebrettet målte 12 mm på 5 minutter (Bent C. Braskerud, NVE, personlig kommunikasjon via e-post, 25.mai 2013). Hvis det antas at intensiteten var konstant

blir denne da: $\frac{12 \text{ mm}}{5 \text{ min}} = \frac{400 \text{ l}}{\text{s} \cdot \text{ha}}$. Ved å anta en impermeabel overflate, enten på grunn av frossen mark eller at marken er vannmettet, blir avrenningen for boligfeltet beregnet som:

$$Q = 1 * 0,62 \text{ ha} * 400 \frac{\text{l}}{\text{s} \cdot \text{ha}} = 248 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Ved å øke høyden 4 cm ville den gressklede vannvegen hatt kapasitet til å håndtere denne hendelsen (fra Tabell 14, 28 cm dybde)

5.5 Innsendte artikler

En artikkel til Kommunalteknikk om gressklede vannveger er skrevet og sendt inn. I samarbeid med forsker Bent C. Braskerud fra NVE er en versjon 1.0, faktaark om gressklede vannveger skrevet til ExFlood-prosjektet. Dette faktaarket ble også sendt inn og godkjent som artikkel i Park & Anlegg av redaktør.

6 Drøfting

Gresskledd vannveg er et åpent overvannstiltak for transport, forsinkelse og fordrøyning, infiltrasjon og rensing av overvann. Dette er mange funksjoner i et tiltak. I litteraturen er anbefalingene om hydraulisk utforming relativt like. Tverrsnittet dimensjoneres på bakgrunn av maksimal tillatt hastighet og denne verdien varierer mellom 1,0-1,2 m/s (Georgia Stormwater Management Handbook,). Det er også enighet om at sideskråningene ikke må være brattere enn 3:1, aller helst 4:1 eller slakere og helningen i avrenningsretningen skal ikke være brattere enn 4-5 %.

Effekten av forsinkelse er stor. En 250 meter lang gresskledd vannveg som transporterer vann under vegetasjonen med maksimalt 0,15 m/s bruker nesten 28 minutter. En dreneringskanal eller et lukket rør som transporterer vann med enten 0,5 eller 1,5 m/s bruker henholdsvis 8,3 og 2,8 minutter. Hvis det antas at tilrenningstiden fram til kanal/sluk er 3 minutter, betyr dette at intensiteten reduseres fra omtrent 125-95 l/s*ha til 48 l/s*ha, hvis IVF-kurven til Risvollan, Trondheim, med 2 års gjentakintervall legges til grunn. Dette er en betydelig reduksjon og kan ha stor betydning for den hydrauliske belastningen på tiltak nedstrøms. I litteraturstudien ble det funnet eksempler på at 33-66 % av vannet infiltrerte i vannvegen. Dette bidrar også til å avlaste nedstrøms tiltak. Både Bäckström og Stagge et al. (M Bäckström et al., 2006; Stagge et al., 2012) fant at de minste nedbørshendelsene ikke en gang resulterte i avrenning ut av de gresskledd vannvegene.

Sedimentering og infiltrasjon blir pekt på som de viktigste renseprosessene i gresskledd vannveg. De rapporterte renseeffektene i Tabell 5 viser at gresskledd vannveg har stor evne til å fjerne suspenderte sedimenter. Overvann inneholder mye partikulært materiale og mange av de andre forurensningene er partikulært bundet. Stagge et al. sier blant annet at årsaken til de oppnådde renseeffektene for tungmetaller er at de er partikulært bundet. Suspenderte stoffer kan fjernes ved sedimentasjon og dette er sannsynligvis årsaken til resultatene. Infiltrasjon reduserer avrenningen. Dette øker oppholdstiden og reduserer evnen til å transpore partikler i vannstrømmen. Økt oppholdstid gjør at partikler med lavere synkehastighet (via Stokes lov betyr dette finere partikler) rekker å synke til bunns før de forlater vannvegen. Claytor & Schueler fant at dreneringskanaler produserte de mest variable resultatene og flere hadde negative rensegrader. Gresskledd kanaler og tørre/våte vannveger hadde bedre og mer stabile resultater. Disse er utformet for å redusere hastigheten. Dette jevner altså ut vannføringen og gir dermed bedre hydraulisk kontroll. Dette er, som nettopp forklart, fordelaktig for sedimentasjonsprosessen. Rolig vannføring gir også vannet bedre tid til å infiltrere og dette har stor betydning i gresskledd vannveg. I studien til Stagge et al. kom det fram at for de største nedbørshendelsene infiltrerte en mye mindre andel av avrenningen. God hydraulisk kontroll ser altså ut til å være viktig for gode, stabile renseeffekter. Dette kan oppnås med utformingen av tverrsnittet, tett vegetasjon og lav helning i avrenningsretningen.

6.1 Tverrfaglig samarbeid

Å løfte overvannshåndteringen fra bakken og opp på overflaten betyr at de valgte løsningene vil både påvirke og bli påvirket av andre fagområder. Det blir lagt beslag på arealer som kunne vært brukt annerledes, tilgangen på solinnstråling er viktig for vegetasjon og det kan oppstå usikkerhet om infiltrasjon kan påvirke stabiliteten i annen infrastruktur som vegger, fundamenter og landkar. Gresskledde vannveger skal helst være så brede som mulig for å fordrøye vannet. Forståelsen for at dette er viktig deles kanskje ikke av alle, andre ser seg kanskje bedre tjent med en smalere dreneringsgrøft for effektiv bortledning av vannet. Det er ikke tilstrekkelig å lage gode planer for overvannshåndteringen, man må også få gjennomslag for dem. Å lære opp andre aktører og beslutningstakere om de valgte løsningene var viktig for å få gjennomslag for planene på Urridaholt, Island.

Å inkludere urbanhydrologi og blå/grønn overvannshåndtering i veilederen er en måte å gjøre dette på, men det er også viktig å kommunisere med andre fagområder tidlig i planleggingen. Omprosjektering er lettere og billigere hvis det gjøres tidlig. Et råd om å snakke med andre fagpersoner tidlig er derfor inkludert. På flere områder er det også felles interesser som oppnås samtidig. Et friskt og tett vegetasjonsdekke ser estetisk bedre ut, er viktig for å dempe hastigheten og øker renseseffekten. Gresskledde vannveger blir i mange tilfeller lagt langs vegger. Ved å tidlige ta kontakt med vegplanleggere kan vegen legges slik at helningen blir tilfredsstillende uten at det oppstår store ekstrakostnader. Dette kan være både billigere og bedre enn å prøve å bygge seg ut av det i ettertid med terskeldammer eller trappefall. Slake bakker er også mer trafikksikre og man kan redusere bruken av strøsand og salt. Dette forenkler drift og vedlikehold på vinteren og reduserer en forurensingskilde. På Urridaholt er dette gjort der det er mulig.

6.2 Tilpasninger til kaldt klima

Kaldt klima gir ekstra utfordringer for en god overvannshåndtering. Thorolfsson nevner blant annet issørpe og isdannelse som hindrer vannets veg. I litteraturen blir muligheten for å bruke gresskledde vannveger som snødeponi nevnt. Det er imidlertid ikke diskutert hvordan dette kan hindre vannets veg i tiltaket. Snødeponier blir ofte værende lenger før de smelter fullstendig bort. Dumpingen kompakterer snøen og det kan være at snøen i seg selv er isolerende. Det kan dermed være en mulighet for at vannvegen delvis blokkeres. Skitten snø legger også igjen et tykt lag med grove sedimenter, dette kan sees på . Dersom dette er midt i vannvegen økes faren for at dette resuspenderer og fraktes med vannstrømmen. Det er særlig mer intense nedbørshendelser rett etter at snøen er smeltet som kan transportere disse sedimentene. I litteraturen er det anbefalt at vannet forbehandles før den gresskledde vannvegen. Dumping av forurenset snø rett i den gresskledde vannvegen får i realiteten samme effekt som å unngå forbehandling.



Figur 49 Sterkt forurenset snø, som brøytekanter langs veier, etterlater et tykt sedimentlag. Trondheim 30.03.2013 Foto: Tore Leland

På grunn av dette anbefales det derfor at snødeponier ikke lagres i bunnen, men i sideskråningene. En tilpasning i kaldt klima må derfor være at sideskråningene lages brede nok, iallfall på den ene siden til at snøen kan dumpes der. To faktorer som har betydning for hastigheten over en flate, og dermed evnen til å transportere sedimenter, er vannføringen og underlaget. Hastigheten over en hard, tett flate er høyere enn over vegetasjonen. Det foreslås derfor at snølagringen skjer på gressdekket, men at sedimentene skjermes fra intens avrenning etter nedbørshendelser. Figur 45 viser hvordan dette kan løses i praksis. Kantstein brukes til å lede nedbørsavrenning til konsentrerte innløp. Snødeponiene har plass i sideskråningen og smeltevann renner direkte ned i vannvegen derfra. Sedimentene blir liggende igjen uten å bli transportert med videre. Dette er en løsning det bør gjøres flere erfaringer med. Det er mer arealkrevende og dette må veies opp imot nytten. Det er ikke funnet svar på hvor stort problemet med snødeponier midt i vannvegen er eller om sedimentene vil tilbakeholdes i sideskråningen. Stagge et al. (Stagge et al., 2012) fant i sin studie at filterstriper gjorde at TSS-konsentrasjonen ble høyere i de mest intense nedbørshendelsene. Dette var nettopp fordi sedimenter ble avsatt i filterstripen. Når sideskråninger regnes som en forbehandling fungerer de som filterstriper. Forskjellen er imidlertid at sedimentene skjermes fra den intense nedbørsavrenningen med kantstein.

En annen mulighet for forbehandling av forurenset snø kan være å sette av noen deler av den gresskledd vannvegen til snødeponi. Det kan tillates at forurenset snø dumpes rett ned i en gresskledd vannveg tett inntil en høyt trafikkert veg. Denne skal lede smeltevannet til en sentralt renseløsning, men er ikke plassert i umiddelbar nærhet av vegen. Den gresskledd vannvegen svinger vekk fra vegen og avstanden til renseløsningen er lang nok til å oppnå tilfredsstillende rensing av vannet, f.eks. som forbehandling før den sentrale renseløsningen. En annen mulighet er å lage en plan for snøhåndtering som sier at snø kun skal dumpes i den øvre delen av vannvegen, f.eks. ved parkeringsplasser. Her vil det være en utfordring å få kommunisert denne til alle, slik at dette tiltaket faktisk blir fulgt opp.

For at gresskledde vannveger skal kunne infiltrere overvann når det er frost i bakken, må vanninnholdet være lavt før det fryser. Amerikanske veiledere ("Atlanta Regional Commission. (2001). Georgia Stormwater Management Manual Volume 2: Technical Handbook. Atlanta Regional Commission, [www. georgiastormwater. com.](http://www.georgiastormwater.com)," ; Virginia, 1999) anbefaler en minimum infiltrasjonskapasitet på 1,27-2,54 cm/time. Braskerud og Paus går bort fra denne verdien og anbefaler minimum 10 cm/time for anlegging av regnbed i Norge. Åstebøl og Sundberg (Åstebøl & Sundberg) fant at infiltrasjonsraten gjennom overflaten i en veggrøft langs E6 ved Minnesund var mellom 7,5-27,5 cm/time. Å anbefale en minimum hydraulisk konduktivitet som er mye høyere enn infiltrasjonskapasiteten gjennom overflaten gir ingen mening, da overflaten ville ha blitt det begrensende laget. Likevel, hvis tallene fra Åstebøl og Sundberg er representative synes 10 cm/time å være en fornuftig anbefaling. Vegetasjonsdekket skal hindre erosjon i kanalen og formålet med filtermediumet er derfor å sikre tilstrekkelig infiltrasjon og innhold av organisk materiale for å gi god vegetasjonsetablering. Med 4 etablerte forskningsfelt for regnbed i Norge og ingen kjente for gresskledde vannveger vil det være fordelaktig å kunne overføre kunnskapen derfra. Det er derfor valgt å gi de samme anbefalingene for et filtermedium i gresskledde vannveger som i regnbed, både minimum hydraulisk konduktivitet, filterdybde og filtersammensetning. I kaldt klima er det nødvendig å forhindre betongfrost i grunnen for å infiltrere smeltevannet og det anbefales derfor å sørge for god drenering. Dersom de underliggende massene har lavere konduktivitet enn filtermediumet må det legges inn underdrenering.

Under snøsmeltingen transporteres løste forurensinger med det første smeltevannet. Samtidig er infiltrasjonsraten størst i begynnelsen, når vanninnholdet i grunnen er minst. På grunn av dette burde det være mulig å bruke gresskledde vannveger til å tilbakeholde løste forurensinger ved infiltrasjon. I nedbørshendelsene som ble simulert infiltrerte 48-92 % av den 20 % første delen av nedbøren. Når 80 % av de løste forurensingene transporteres med den 20 % første delen av smeltevannet kan dette ha en stor effekt.

For å løse det Oberts selv kaller «The cold climate puzzle», hvilken plan som klarer å fange opp både løselige og partikulære forurensinger, setter han opp flere tiltak som isammen skal løse utfordringen. Ifølge Oberts må det en strategi som involverer reduksjon av forurensingskilder, infiltrasjon, avledning og fordrøyning av smeltevannet og flere rens tiltak i serie. Overvannshåndteringen på Urridaholt har mange likheter med denne strategien. Tilførselen av forurensinger skal reduseres, blant annet ved nøysom salting/strøing, overvann forsøkes infiltrert både lokalt og på fellesområder og ved bruk av gresskledde vannveger forsinkes og fordrøyes vannet. Ved å filtrere overvannet gjennom et filtermedium fra gresskledde vannveger til oversiden av en våtmark blir flere rens tiltak satt i serie før vannet når resipienten. Urridaholt er likevel ikke ferdig utbygd og derfor er det vanskelig å vite hvor godt overvannshåndteringen faktisk fungerer. Bruken av gresskledde vannveger på Urridaholt demonstrerer klart hvordan tiltaket kan brukes i kaldt klima. Fordi gresskledde vannveger er så sentrale i overvannshåndteringen burde det, med begrunnelse i den tidligere drøftingen, være en plan for hvordan disse skal brukes som snødeponier. Det kan hende det oppstår problemer med at snøen hindrer vannføringen. Det som er positivt er at de gresskledde vannvegene er forlenget bort fra bilveiene og bebyggelse, slik at et eventuelt sedimentlag fra

forurenset snø blir liggende igjen, mens overvannet ledes til partier av de gresskledde vannvegene som ikke er blitt brukt til snødeponi.

Sammenlignet med nedbørshendelser er smelteintensiteten lav. En utfordring med smeltevann er det store volumet. Gresskledde vannveger blir sjeldent dypere enn 0,4-0,5 meter. Et typisk infiltrasjonsbasseng kan være 1-1,5 meter (Statens Vegvesen,(2006)). Når gresskledde vannveger blir lagt med fall for å kunne drenere, er det nødvendig å installere terskeldammer for å skape et lagringsvolum. Disse anbefales å bygges slik at foten er i høyde med toppen på dammen nedstrøms og dette gjør at den gjennomsnittlige høyden halveres. Overflatearealet som trengs er derfor mye større enn for infiltrasjonsbassenger for å lagre det samme volumet.

Gresskledde vannveger kan legges i helt flatt terreng og med underdrenering og hevet overløp (uten noe normalt utløp), men da blir det egentlig et spørsmål om det fremdeles bør kalles en gresskledde vannveg eller om det går over til å bli et infiltrasjonsbasseng eller en infiltrasjonsgrøft.

De forskjellige klimasonene vi har i Norge gjør det vanskelig å komme med en felles anbefaling om bruk av gresskledde vannveger. I maritimt klima kommer en mindre andel av nedbøren som snø og iløpet av vinteren smelter snødekket fullstendig mange ganger, slik at det ikke er en utpreget vårsmelting. Nedbørsmønsteret domineres av langtidsnedbør framfor kraftig bygenedbør. Et vannkvalitetsvolum for vår, sommer og høst på 19,7 mm, som i Bergen(Bakken, 2013), kan være mulig å lagre og infiltrere i gresskledde vannveger.

I innlandet, der mer av nedbøren kommer som snø og det blir en utpreget vårsmelting kan bruk av gresskledde vannveier for å lagre smeltevannsvolumet bli svært vanskelig. Nedbørsmønsteret er mer preget av kraftige byer. Da er det kanskje mer fornuftig bruke gresskledde vannveger til å forsinke og jevne ut vannføringen. Avrenningen blir så ledet til andre tiltak som har bedre, mer stabile rensegrader og som klarer å lagre et større volum på et mindre areal. Å oppnå god hydraulisk kontroll kan gjøres veldig enkelt hvis det planlegges godt og forholdene ligger til rettet. Med en riktig tverrsnittsutforming og tidlig planlegging slik at den blir lagt rett i terrenget oppnår man dette. Fremfor å være en «alt-i-ett»-løsning fokuseres det på rolig transport.

Å finne dimensjoneringsparametre i kaldt klima har vært vanskelig og det har ikke kommet noe svar på det i denne oppgaven. I beregningseksemplene som er laget ser man at å øke dybden fra 16 cm til 24 cm på grunn av kravet om dekkhøyde øker kapasiteten fra 30,3 l/s til 122,5 l/s. Å øke høyden til 28 cm øker kapasiteten 269 l/s og ville på papiret kunne håndtert en tilsvarende situasjon som den i Trondheim 1. april 1997. Dette øker bredden fra 1,94 meter til 2,18 meter. Kostnaden ved å gjøre dette bør vurderes mot nytten man oppnår. Kravet om 8 cm dekkhøyde er tatt fra andre manualer. Kanskje burde dette tallet vurderes mot norske forhold slik at man overdimensjonerer tilstrekkelig til å ta høyde for utfordringer med frossen mark og regn-på-snø hendelser som gir stor avrenning, uten omfattende beregninger. Denne overdimensjoneringen taler også for at ulike overvannstiltak brukes til det formålet det er best egnet til. Gresskledde vannveger, som ved en liten økning i tverrsnittet, kan transportere store vannmengder, brukes primært til dette. Infiltrasjonsbassenger og regnbed, som gir mer volum per areal, brukes til lagring av smeltevannet.

7 Konklusjon

Vannføring under vegetasjonshøyden i gressklede vannveger kan modelleres ved bruk av Mannings formel og Green-Ampts infiltrasjonslikninger. Gressklede vannveger reduserer og jevner vannføringen. Gressklede vannveger kan infiltrere fullstendig de minste nedbørshendelsene og den første delen av større nedbørshendelser. Hvis innløpet er langs hele siden og helt ned til utløpet blir ikke avrenningen forsinket, sammenlignet med en lukket løsning i rør.

Gressklede vannveger forbedrer vannkvaliteten på overvannet, men har dårligere renses effekter enn andre LOD-tiltak. Stabile renses grader har sammenheng med god hydraulisk kontroll. Forsinkelse og fordrøying ved rolig transport er hovedfunksjonen til gressklede vannveger. Tiltaket kan brukes til å redusere og jevne ut belastningen på andre overvannstiltak. De fungerer også som flomveier.

Gressklede vannveger kan, med noen tilpasninger, brukes i norsk klima. Det mangler data på renses effekter og dimensjoneringsparametre. For å håndtere vintersituasjoner med regn-på-snø og impermeable flater bør det inntil videre overdimensjoneres for sommersituasjonen.

8 Videre arbeid

-Gressklede vannveger kan være en erstatning for bortledning i lukkede rør. Det bør gjøres livssyklusanalyser av gressklede vannveger for at disse alternativene blir lettere å sammenligne.

-Gressklede vannveger kan knytte ulike overvannstiltak sammen. Det bør undersøkes hvordan ytelsen av disse tiltakene påvirker hverandre slik at kost/nytte kan optimeres.

-Det må forskes mer på hvordan gressklede vannveger påvirker vannkvaliteten i kaldt klima og under snøsmelting. Særlig hvordan gressklede vannveger kan utformes rett for å hindre utvasking av sedimenter etter snøsmelting.

-Hva er en tilstrekkelig overdimensjoneringsparameter eller er det bedre metoder å dimensjonere gressklede vannveger for vintersituasjoner.

Referanser:

- , Statens Vegvesen. (2006). Håndbok 261: Vannbeskyttelse i vegplanlegging og vegbygging. utkast.
- Atlanta Regional Commission. (2001). Georgia Stormwater Management Manual Volume 2: Technical Handbook. Atlanta Regional Commission, www.georgiastormwater.com.
- Bakken, Øyvind. (2013). *Evaluering av overvannskvaliteten i nedslagsfeltet for Fredlybekken, og mulighet for storskalaimplementering av regnbed*. . Masteroppgave. Veileder: Tone M. Muthanna. Institutt for Vann og Miljøteknikk. NTNU. Trondheim.
- Barrett, M., Walsh, P., Jr., J., & Charbeneau, R. (1998). Performance of Vegetative Controls for Treating Highway Runoff. *Journal of Environmental Engineering*, 124(11), 1121-1128. doi: doi:10.1061/(ASCE)0733-9372(1998)124:11(1121)
- Barrett, Michael E. (2005). Performance Comparison of Structural Stormwater Best Management Practices. *Water Environment Research*, 77(1), 78-86.
- Braskerud, Bent Christen, & Myrabø, Steinar. (2013). Kvistdammer -Flomdemping, sedimentsamlig og stabilisering i små nedbørsfelt. Exflood.
- Bäckström, M, Viklander, M, & Malmqvist, P-A. (2006). Transport of stormwater pollutants through a roadside grassed swale. *Urban Water Journal*, 3(2), 55-67.
- Bäckström, Magnus. (2002). *Grassed swales for urban storm drainage*. (Doktoravhandling), Luleå tekniska universitet, Luleå.
- Bøyum, Åsmund, Eidsmo, Tomas, Lindholm, Oddvar, Nordeide, T., Semb, T, Skretteberg, R., & Markhus, E. (1997). Anvendt urbanhydrologi. *Publikasjon nr. 10, 1997 NVE*.
- Clapp, Roger B, & Hornberger, George M. (1978). Empirical equations for some soil hydraulic properties. *Water resources research*, 14(4), 601-604.
- Claytor, Richard A, & Schueler, Thomas R. (1996). *Design of stormwater filtering systems*: Chesapeake Research Consortium.
- Crowe, Clayton T., Elger, Donald F., & Roberson, John A. (2005). *Engineering fluid mechanics*. Hoboken, N.J.: Wiley.
- Deletic, Ana, & Fletcher, Tim D. (2006). Performance of grass filters used for stormwater treatment—a field and modelling study. *Journal of Hydrology*, 317(3–4), 261-275. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.05.021>
- Dillaha, Theo Alvin, Sherrard, Joseph H, & Lee, D. (1986). *Long-term effectiveness and maintenance of vegetative filter strips*: Virginia Water Resources Research Center, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Dingman, S. Lawrence. (2008). *Physical hydrology*. Long Grove, Ill.: Waveland Press.
- Engelund, Frank, & Hansen, Eggert. (1967). A monograph on sediment transport in alluvial streams. *MONOGR, DENMARK TECH UNIV, HYDRAUL LAB, 62 P, 1967. 30 FIG, 3 TAB, 31 REF*.
- Ferguson, Bruce K. (1998). *Introduction to stormwater: concept, purpose, design*. New York: Wiley.
- Hanssen-Bauer, Inger, Drange, H, Førland, EJ, Roald, LA, Børsheim, KY, Hisdal, H, . . . Sorteberg, S. (2009). Klima i Norge 2100. *Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpassing.*, Norsk klimasenter, Oslo, Norway.
- Hvitved-Jacobsen, Thorkild, Vollertsen, Jes, & Nielsen, Asbjørn Haaning. (2010). *Urban and highway stormwater pollution : concepts and engineering*. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor & Francis.
- Killingtveit, Ånund, & Sælthun, Nils Roar. (1995). *Hydrology* (Vol. Vol. no. 7). Trondheim: Norwegian University of Science and Technology. Department of Hydraulic Engineering.
- Leland, Tore. (2012). *TVM 4105: Gresskledde forsengkinger i norsk klima*. (Fordypningsprosjekt. Veileder: Sveinn T. Thorolfsson), NTNU, Trondheim.
- Lindholm O., Endresen S., Smith B. T., Thorolfsson S. (2012). Norsk Vann Rapport193/2012 Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem: Norsk Vann.
- Lindholm, Oddvar. (2008). Overvannsdammer – Beregning av volum. VA-miljøblad nr. 69. Norsk Rørsenter.

- Lindholm, Oddvar, Endressen, Svein, Thorolfsson, ST, Sægrov, Sveinung, Jakobsen, Guttorm, & Aaby, Lars. (2008). Norsk Vann Rapport 162/2008 Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering (pp. 79): Norsk Vann.
- Marsalek, J., Oberts, G., Exall, K., & Viklander, M. (2003). Review of operation of urban drainage systems in cold weather: water quality considerations. *Water Sci Technol*, 48(9), 11-20.
- Mays, Larry W. (2001). *Stormwater collection systems design handbook*: McGraw-Hill Professional.
- Minnesota, Stormwater Steering Committee. (2008). *Minnesota Stormwater Manual*. St. Paul, MN: Minnesota Pollution Control Agency.
- Muthanna, T.M. (2007). *Bioretention as a Sustainable Stormwater Management Option in Cold Climates*. . ([PhD. Veileder: Sveinn T. Thorolfsson]), Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet.
- Muthanna, Tone M., Viklander, Maria, & Thorolfsson, Sveinn T. (2007). An evaluation of applying existing bioretention sizing methods to cold climates with snow storage conditions. *Water Sci Technol*, 56(10), 73-81. doi: 10.2166/wst.2007.745
- Oberts, Gary L. (2003). Cold climate BMPs: solving the management puzzle. *Water Sci Technol*, 48(9), 21-32.
- Olsen, Nils Reidar B. (2008). Numerical modelling and hydraulics. *Dept. of Hydraulic and Environmental Engineering, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway*, <<http://folk.ntnu.no/nilsol/cfd>>(Oct. 7, 2008).
- Paus, Kim Aleksander Haukeland. (2012). Forelesningsnotater TVM4126 VA-teknikk VK. Urban Stormwater characteristics. 10.11.2012. Trondheim: NTNU.
- Paus, Kim Aleksander Haukeland, & Braskerud, Bent Christian. (2013). Forslag til dimensjonering og utforming av regnbed i norske forhold. VANN nr 1/2013.
- PGC. (2002). Bioretention manual. *Prince George's County (MD) Government, Department of Environmental Protection. Watershed Protection Branch, Landover, MD*.
- Pittner, Chris, & Allerton, Gordon. (2010). SUDS for roads. Scotland: SUDS Working Party.
- Rawls, Walter J, Brakensiek, Donald L, & Miller, Norman. (1983). Green-Ampt infiltration parameters from soils data. *Journal of hydraulic engineering*, 109(1), 62-70.
- Scholes, Lian, Revitt, D Michael, & Ellis, J Bryan. (2008). A systematic approach for the comparative assessment of stormwater pollutant removal potentials. *Journal of environmental management*, 88(3), 467-478.
- Stagge, James H, Davis, Allen P, Jamil, Eliea, & Kim, Hunho. (2012). Performance of grass swales for improving water quality from highway runoff. *Water research*.
- Stahre, Peter. (2006). *Sustainability in Urban Storm Drainage. Planning and Examples*. 3. utg. ISBN: 91-85159-20-4. Stockholm: Svenskt Vatten.
- Statens Vegvesen. Kartutsnitt E6 Gardermoen-Biri. (2013). Retrieved 13.05.2013, from <http://www.vegvesen.no/Europaveg/e6gardermoenbiri/Illustrasjoner>
- Tarboton, David G. (2003). Rainfall-runoff processes. *Utah State University*.
- Thorolfsson, S.T., Matheussen, BV, Frisvold, H., Nilsen, O., Kristiansen, V., & Pedersen-Oeverleir, A. (2003). *Urban hydrological data collection in cold climate. Experiences at Risvollan, Trondheim, Norway*. Paper presented at the Proceedings of the 1 st International conference on urban drainage and highway runoff in cold climates, IWA, IAHR, Luleaa University of Technology.
- Thorolfsson, Sveinn T. (2008). Stormwater management at Urridavatn in Iceland. *In proceedings of XXV Nordic Hydrological Conference. August 11-13 2008. Reykjavik, Iceland*.
- Thorolfsson, Sveinn T. (2012a). *Hydrologi-Urbanhydrologi for overvannshåndtering*. Trondheim: NTNU, Institutt for vann og miljøteknikk.
- Thorolfsson, Sveinn T. (2012b). *Overvannsteknologi*. Trondheim: NTNU. Institutt for vann & miljøteknikk.
- Urridaholt EHF. (2013). Retrieved 28.05.2013, 2013, from www.urridaholt.is
- Viklander, Maria, & Malmqvist, PA. (1993). *Melt water from snow deposits*. Paper presented at the Proceedings of the Sixth Conference on Urban Storm Drainage.

- Virginia, Stormwater Management Handbook. (1999) (1 ed., Vol. 1). Richmond, VA: Virginia Dept. of Conservation and Recreation.
- WDNR, Wisconsin Department of Natural Resources. (2006). Conservation Practice Standard 1004: Bioretention for infiltration. Wisconsin, USA.
- Woods-Ballard, B, Kellagher, R, Martin, P, Jefferies, C, Bray, R, & Shaffer, P. (2007). The SUDS manual. *CIRIA, London*.
- Wu, Jy S, Allan, Craig J, Saunders, William L, & Evett, Jack B. (1998). Characterization and pollutant loading estimation for highway runoff. *Journal of Environmental Engineering*, 124(7), 584-592.
- Yu, Shaw L, Kuo, Jan-Tai, Fassman, Elizabeth A, & Pan, Henry. (2001). Field test of grassed-swale performance in removing runoff pollution. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 127(3), 168-171.
- Åstebøl, Svein Ole, & Gjerlow, Sverre O. (2006). SUDS-Urridaholt Final Report. COWI.
- Åstebøl, Svein Ole, Simonsen, Øyvind, Nordahl, Hallgeir, & Moldestad, Kristin. (2008). Statens vegvesen Region Øst, E6-prosjektet Gadermoen-Biri. Infiltrasjon av overvann i grøft. COWI.
- Åstebøl, Svein Ole, & Sundberg, Johan. Statens Vegvesen Region Øst, Undersøkelse av infiltrasjon og forurensning i vegggrøft. COWI. 2010.

9 Vedlegg A: Veileder for planlegging og utforming av gresskledd vannveger versjon 1.1



Formål:

Langsom, men trygg bortledning av overvann. Reduserer belastningen på resten av overvannssystemet ved å jevne ut vannføringen, infiltrere deler av overvannet og forbedre vannkvaliteten.

Figur 50 Gresskledd vannveg. Foto: Tore Leland

Fordeler:

- Kan erstatte overvannsledninger
- Knytter forskjellige LOD-tiltak sammen og reduserer belastningen ved å redusere maksimal vannføring, volum og total masse forurensninger
- Det grunne, brede tverrsnittet forenkler vedlikehold
- Passer godt langs veier, slake sidekanter gir økt trafiksikkerhet.
- Kan fungere som snødeponi
- Godt egnet til å fange opp avrenning fra eiendommer og veier
- Mulig å ettermontere for å oppgradere overvannshåndteringen

Ulemper:

- Vanskelig å benytte i bratt terreng
- Kan oppstå erosjonsproblemer
- Arealbeslag og eventuelt filtermedium med underdrenering kan være fordyrende
- Manglende erfaring i norsk klima mht. anlegging funksjon og driftskostnader. Plenklipping i lavbrekk kan være vanskelig på grunn av stående vann.
- Varierende renseseffekt gjør at gresskledd vannveger ikke er egnet som eneste rens tiltak med mindre den utformes for å fordrøye og infiltrere avrenningen.

Innledning

Gresskledd vannveger

En gresskledd vannveg er en grunn forsenking som sørger for trygg bortledning av overvann, samtidig som forsinkelse og fordrøyning skal være størst mulig. Dette skiller de fra tradisjonelle grøfter og åpne kanaler som er utformet for rask bortledning av overvannet. Mest mulig infiltrasjon nære kilden og utjevning av vannføringen reduserer belastningen på overvannssystemet nedstrøms. Det grunne tverrsnittet skal fremme flatestrømming i vannvegen. Dette øker infiltrasjonsflaten og normal vannføring foregår under vegetasjonshøyden. Vegetasjonen er viktig for strømningsmotstanden. Forurensninger tilbakeholdes ved sedimentering, infiltrasjon og filtrering gjennom vegetasjonen. Over tid blir en betydelig andel av forurensningene tilbakeholdt, men perioder med høy vannføring kan frigi, fremfor å tilbakeholde forurensninger. Gresskledd vannveger bør derfor sees på som et tiltak som reduserer og jevner ut belastningen på andre tiltak. Andre navn på gresskledd vannveger er «swales» (engelsk), «svackdiken» (svensk), «vadi» eller V (dansk) og «Mulden-Rigolen» (tysk).

Norsk klima

Klimaet i Norge varierer med den geografiske beliggenheten. Fra sør til nord er det forskjell i mottatt solinnstråling, havet påvirker klimaet langs kysten og det er høyfjellsområder som skjerner de indre strøkene fra luftmassene som kommer fra vest. Ved å bruke Köppens klimaklassifiseringssystem kommer Norge innunder flere klasser, Fra ytre Oslofjord til Troms er det et maritimt klima (varmtemperert). Sørlandet, Østlandet og Trøndelag har et kontinentalt klima (kaldtemperert). Finnmark har et kontinentalt polarklima (kaldtemperert), mens fjellområdene og Svalbard har et polart klima.

Årsmiddeltemperaturen varierer fra +6 grader på Vestlandskysten til -4 grader på høyfjellet, deler av Varangerhalvøya og Longyearbyen på Svalbard. Forskjellen mellom høyeste og laveste månedsmiddeltemperatur i indre strøk av Østlandet og Finnmark er 20-30 grader, mens den langs kysten er 10-15 grader. Vekstsesongen er antall døgn med middeltemperatur over 5 grader og er eksempelvis 225 dager på kysten av Vestlandet, 165 døgn i Mjøs-området og enda kortere i kaldere deler av landet.

Den årlige nedbørsmengden varierer fra sør til nord og fra kyst til innland. Langs kysten er den årlige nedbørsmengden større enn i innlandet. I innlandet opptrer det oftere kortere og mer intense nedbørshendelser som følge av sterk oppvarming av bakken. Svalbard er tørrest.

Urbanhydrologi

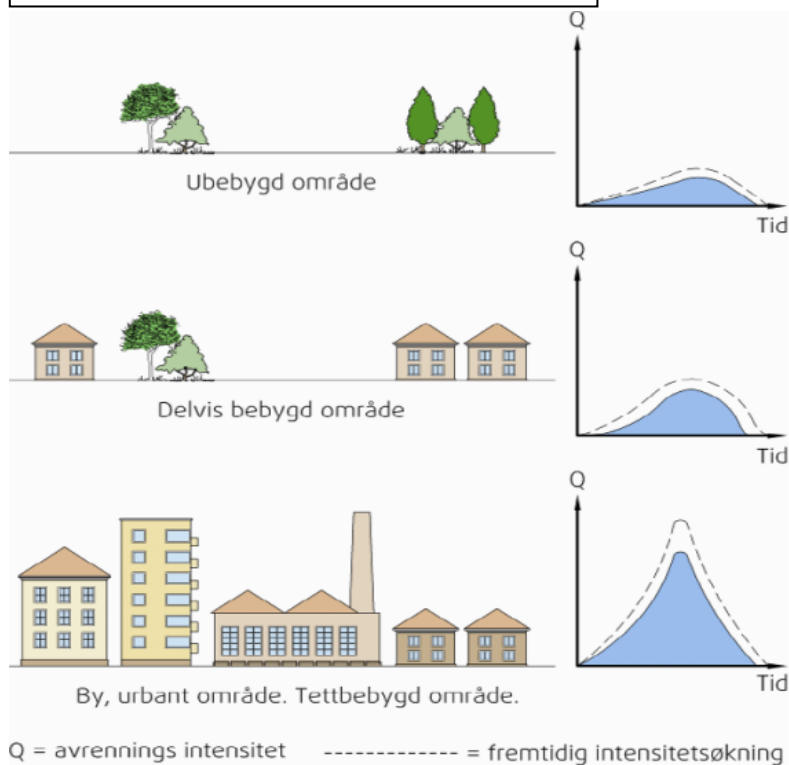
Urbanhydrologi handler om vannets kretsløp i urbane områder. Overflateavrenningen kan beregnes fra vannbalanseligningen (Thorolfsson, 2012a).

Konsekvensene av urbanisering er beskrevet av Thorolfsson (Thorolfsson, 2012a).

$$Q = N - F - Int. - Inf - G - X$$

N=Nedbør
 F= Fordamping
 Int= Intersepsjon
 Inf= Infiltrasjon
 G= Gropmagasinerings
 X= Andre tap

Urbanisering medfører at vegetasjon og grønne flater fjernes. Permeable flater erstattes med tette flater som asfalt, betong og takbelegg. Resultatet er at tapsleddene i vannbalanseligningen reduseres og avrenningen øker. Harde tette flater og drenering til lukkede rør gir effektiv bortledning av overvannet. Dette reduserer konsentrasjonstiden i nedbørsfeltet og avløpssystemet må dimensjoneres for kortere og mer intens nedbør. Figur 6 illustrerer hvordan urbanisering øker volumavrenningen og spissvannføringen mens konsentrasjonstiden reduseres.

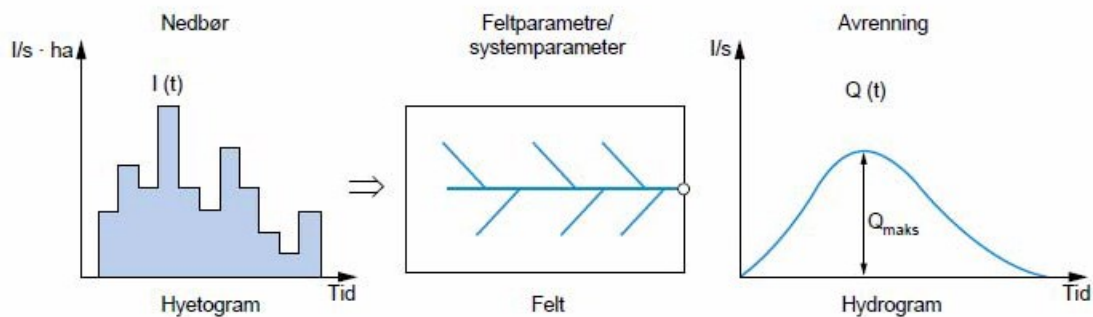


Figur 51: Effekt av urbanisering på overflateavrenning. Hydrologi -Urbanhydrologi for overvannshåndtering. (Thorolfsson, 2012a)

Overvann fra urbane områder inneholder også forurensninger. Gamle fellessystemer blander overvannet med avløpsvann, men overvannet forurenses også fra trafikk, atmosfære, bygningsmaterialer og andre kilder som søppel, løv, dyreekskrementer, utslipp og ulykker. Overvannet kan særlig inneholde mye partikulært materiale og mikroforurensninger, både organiske (f.eks PAH og PCB) og uorganiske (tungmetaller)(Paus, 2012). Forurensninger akkumuleres i tørrvær og skyldes bort med første nedbørshendelse. Dette gir en «first flush» effekt, mesteparten av forurensningen kommer helt i starten.

Beregning av overflateavrenning

For å dimensjonere overvannssystemer er det nødvendig å finne en avrenning som blir dimensjonerende. Figur 9 illustrerer at det er en sammenheng mellom nedbør og avløp via feltparametre for nedbørsfeltet.



Figur 52 Illustrasjon av konvertering av nedbør (hyetogram) til avløp (hydrogram). (Thorolfsson, 2012a)

Ifølge Thorolfsson (Thorolfsson, 2012a) kan det for mindre nedbørsfelt (arealer mindre enn 20-50 hektar) brukes den rasjonale formel til å gjøre overslagsberegninger for avrenning.

Tabell 15 Maksimale avrenningskoeffisienter for noen type flater. (Mays, 2001)

Type flate	φ_{spiss}
Tak	0,8-0,9
Asfalterte veier og gater	0,7-0,8
Grusveier	0,4-0,6
Plen	0,05-0,1
Sammensatte flater:	
Midtby områder	0,7-0,9
Kjøpesenter	0,6-0,8
Blokkbebyggelse	0,4-0,6
Rekkehusområder	0,3-0,4
Åpne eneboligstrøk	0,2-0,3

$$Q = \varphi * A * N \left[\frac{mm}{\text{år}} \right] \text{ eller } = \varphi * A * I \left[\frac{l}{s} \right]$$

$$Q = \text{avrenning} \left[\frac{mm}{\text{år}}, \frac{mm}{\text{time}}, \frac{l}{s} \right]$$

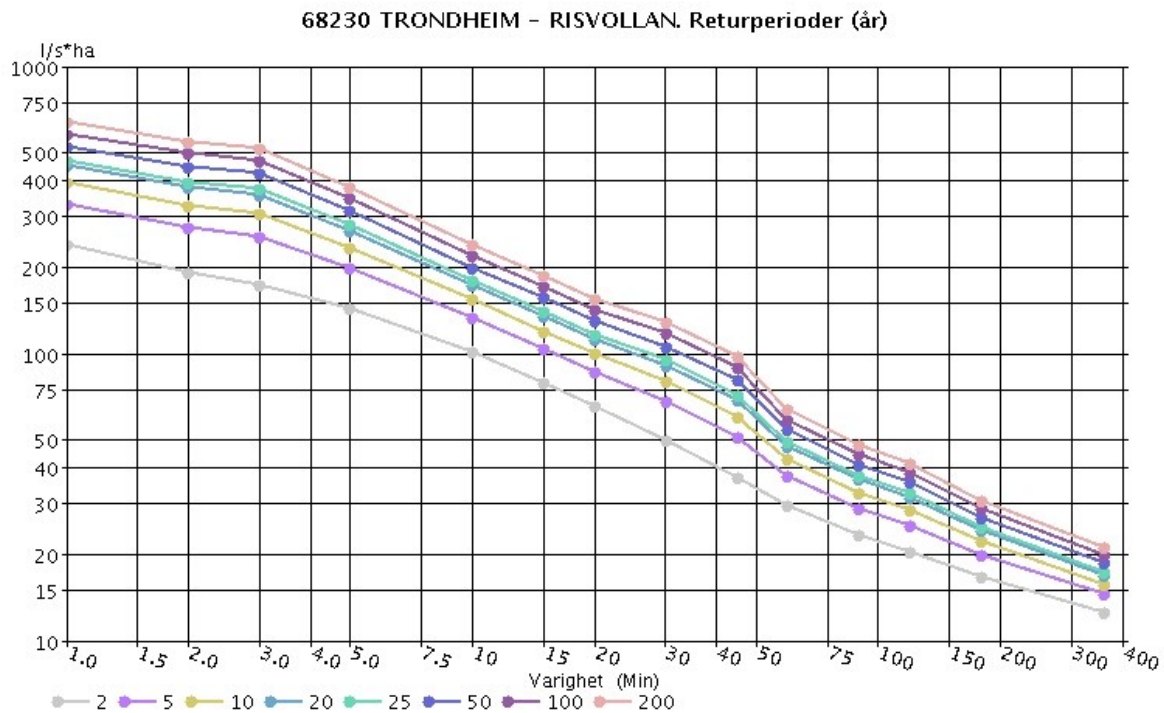
$$\varphi = \text{avrenningskoeffisient}$$

$$A = \text{areal} \quad I = \text{intensitet} \left[\frac{l}{s * ha} \right]$$

$$N = \text{nedbørsmengde over en tidsperiode} \left[\frac{mm}{\text{år}} \right]$$

For større områder bør det benyttes EDB-baserte modeller; MOUSE, SWMM5, NIVANETT, etc (Thorolfsson, 2012a).

Intensiteten finnes fra IVF-kurver (Intensitet-Varighet-Frekvens) når man vet konsentrasjonstiden for feltet og har bestemt gjentaksintervall. IVF-kurver utarbeides av Meteorologisk institutt og er tilgjengelig gratis på eklima.met.no. Figur 10 viser en IVF-kurve fra Risvollan Urbanhydrologiske målestasjon i Trondheim.



Figur 53 IVF-kurve for Risvollan, Trondheim. Fra eklima.met.no 01.06.2013

Korte regnbyger på noen få minutter kan ha svært høye intensiteter. Volumavrenningen fra disse nedbørshendelsene blir på grunn av den korte varigheten ikke nødvendigvis så store at det blir problematisk å håndtere. Vannkvalitetsvolumet er det volumet som er nødvendig for å fange opp en viss andel av den årlige nedbøren. Bakken (Bakken, 2013) beregnet vannkvalitetsvolumet for Trondheim, Bergen og Sandefjord

Tabell 16 Vannkvalitetsvolum i 3 norske byer. Bakken, 2013

By	Vannkvalitetsvolum
Trondheim	12,5 mm
Sandefjord	22,4 mm
Bergen	19,7 mm

For Trondheim betyr dette at 90% av den årlige nedbøren kommer fra hendelser som har generert mindre enn 12,5 mm med nedbør.

Kaldt klima

Kaldt klima kan defineres som områder der minst 3 måneder har en gjennomsnittstemperatur over 10°C og den kaldeste måneden har en gjennomsnittstemperatur under 1°C . Dette inkluderer mesteparten av Norge, unntatt noen områder på Sør-Vestlandet. (Muthanna, 2007)

Tabell 17 Designutfordringer for gresskledde vannveger. Basert på (Thorolfsson, 2012b)

Frost/isdannelse i vannvegen
Isdannelse, tiltetting av sluk/innløp, issørpe som hindrer vannets vei
Redusert sedimenteringshastighet
Redusert infiltrasjon til grunnen
Kort vekstsesong for vegetasjon
Negative effekter av veggssalting på vegetasjon og vannmiljøet
Høye avrenningskoeffisienter ved frost/isdekket mark
Stor avrenning ved samtidig regn/snøsmelting
Høy forurensningsbelastning ved snøsmelting
Snødeponier som ved smelting avgir forurensninger

Snøsmelting i urbane områder kan være utfordrende å beregne fordi det foregår så ujevnt. Tette flater som fortau, gater og parkeringsplasser brøytes og bidrar lite eller ingenting til snøsmeltingen. Snøen kan også ha blitt transportert ut av området. Smelteprosessen forsinkes av bygninger som skygger for sola og fremskyndes av salting av veier.

Tabell 18 Snøsmelteintensiteter i noen norske byer [mm/12timer]. (Bøyum et al., 1997)

Sted	z = 2 år	z = 5 år	z = 10 år
Kristiansand	19	27	33
Sandnes	20	25	30
Bergen	18	24	28
Oslo	19	27	32
Trondheim	19	39	33
Mosjøen	20	30	35
Narvik	22	32	35
Tromsø	20	30	38
Gjennomsnitt	19,6	28,1	33,0

Regn på frossen overflate kan resultere i situasjoner der lite eller ingenting av avrenningen infiltrerer i nedbørsfeltet og snøsmelting bidrar til avrenningen. Dette er ekstremsituasjoner der man bør vurdere avrenningskoeffisienter så høyt som 0,8-1 og avrenningen kan bli større enn nedbøren.

I kaldt klima vil forurensning akkumuleres i snølaget. Dette foregår normalt over lenger tid enn mellom tørrværshendelser i milde perioder, derfor blir konsentrasjonene særlig store i smeltevannet om våren. Det blir også flere forurensningskilder vinterstid. Salt og strøsand strøs på veien og atmosfæriske forurensninger bindes til snøkrystaller.

Smelteprosessen starter normalt med lav intensitet. I denne fasen blir løselige forurensninger med smeltevannet. Det oppstår derfor en skadelig «first flush»-effekt fordi dette løste materialet er mer giftig enn det som blir igjen. Når smelteprosessen fortsetter øker

intensiteten. Smeltevannet får evne til å transportere med seg finere partikler. Grove partikler blir igjen på bunnen. I sterkt forurenset snø blir det liggende igjen et tykt sedimentlag som er sterkt forurenset. Avrenningen fra nedbørshendelser med langt høyere intensitet kan transportere med seg disse om dette inntreffer.



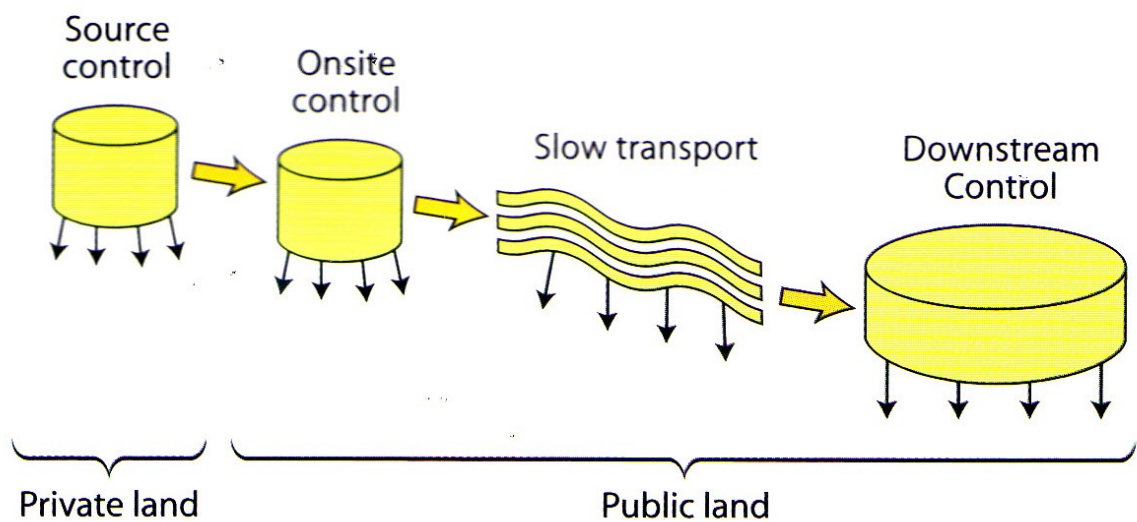
Figur 54 Sterkt forurenset snø, som brøytekanter langs veger, etterlater et tykt sedimentlag. Foto: Tore Leland

Blå/grønn overvannshåndtering

Blå/grønn overvannshåndtering innebærer at man velger løsninger som ligner naturens egne måter for å håndtere overvann. Overvannet blir sakte transportert, filtrert gjennom jord og vegetasjon, infiltrert i jorda og perkolert ned til grunnvannet. Sikre flomveier må også lages. Løsningene vil ofte se blå/grønne ut, fordi det vil være åpne løsninger hvor overvannet er synlig og mye bruk av grønne flater med vegetasjon. Grunnen til å velge slike løsninger er for å motvirke effektene av urbanisering som er beskrevet tidligere. Tette flater og rask bortledning øker belastningen på overvannssystemet.

Fordi løsningene vil være synlig, er det også viktig at utformingen blir estetisk attraktiv. Mange kaller blå/grønn overvannshåndtering for åpen overvannshåndtering eller bærekraftig overvannshåndtering. Man kan også møte på det engelske begrepet «SUDS» (Sustainable Urban Storm Drainage).

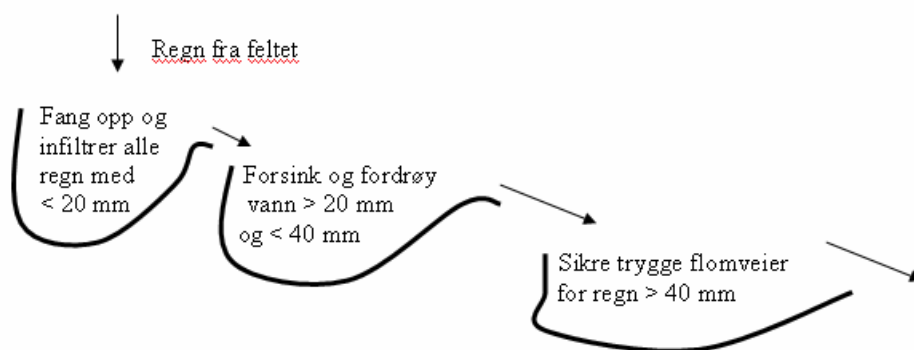
Overvann bør i størst mulig grad håndteres lokalt ved kilden (source control). Dette betyr tiltak på private områder som reduserer avrenningen, blant annet grønne tak eller regnbed. Det overvannet som ikke lar seg håndtere lokalt bør føres til offentlige områder for fordrøyning og infiltrasjon (onsite control). Avrenning herfra bør bortledes så langsomt som mulig for å jevne ut vannføringen. Nedstrøms kontroll innebærer større dammer, våtmarker og innsjøer.



Figur 55 Bærekraftig overvannshåndtering. Stahre (2006)

Strategi

Norsk Vann anbefaler en treleddsstrategi for håndtering av nedbør. Mindre nedbørshendelser skal fanges opp og infiltrere. Store nedbørshendelser skal forsinkes og fordrøyes. Ekstreme nedbørshendelser må håndteres med trygge flomveier. Verdiene i Figur 8 er veiledende og må tilpasses lokalt. Dette gjøres ved å foreta en risikoanalyse og finne størrelsen på nedbørshendelser med dimensjonerende gjentakintervall. Det er derfor nødvendig med gode nedbørsmålinger.



Figur 56: Treleddsstrategi for håndtering av nedbør. (Norsk Vann, 2008)

Tabell 19 Norsk Vanns anbefalte minimum dimensjonerende hyppigheter (gjentaksintervall) for ulike avløpssystem (Lindholm et al., 2008) (Lindholm O., 2012)

Dimensjonerende regnskyllhyppighet (1 i løpet av «n» år)	Type område	Dimensjonerende oversvømmelseshyppighet (1 i løpet av «n» år)
1 gang i løpet av 5 år	Områder med lavt skadepotensiale (utkantområder, landkommuner etc.)	1 gang i løpet av 10 år
1 gang i løpet av 10 år	Boligområder	1 gang i løpet av 20 år
1 gang i løpet av 20 år	Bysenter/industriområder/forretning sstrøk	1 gang i løpet av 30 år
1 gang i løpet av 30 år	Underganger/områder med meget høyt skadepotensiale	1 gang i løpet av 50 år

En gresskledd vannvei er et åpent overvannstiltak der hovedhensikten er å oppnå langsom transport av overvannet. Denne langsomme transporten reduserer flomtoppen og gir mulighet for infiltrasjon av overvannet underveis. Tiltaket skal også ha kapasitet til å fungere som flomvei ved ekstreme nedbørshendelser. Det er derfor et tiltak som inngår i 2. og 3. ledd i treleddsstrategien.

Norsk Vann Rapport 162|2008, «Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering» gir anbefalinger om hvilke situasjoner som må analyseres:

En sommersituasjon må beregnes for maksimal avrenning for alle feltstørrelser i alle landsdeler.

I tillegg bør man beregne følgende avrenningssituasjoner:

-Vinteravrenning, frossen mark, snødekket mark med snøsmelting og langvarig regn, når feltene er større enn 20-50 ha. (Sommerregn bør være utsortert fra IVF kurvene).

- Det beregnes også høstavrenning med langvarig regn og våt mark når feltene er større enn 20-50 ha.

Den største avrenningen av disse gir maksimal avrenning for alle årstider.

Gresskledd vannveger brukes normalt på felt som er mindre enn 20 ha, det er derfor vanligvis tilstrekkelig å analysere maksimal avrenning i sommersituasjonen.

Dimensjonering av åpne kanaler

Manning's formel:

$$v = MxR^{\frac{2}{3}}xI^{\frac{1}{2}}$$

v=Vannhastigheten (m/s)

M=Manningstallet (m^{1/3}/s)

R=Hydraulisk radius

$$R=A_{\text{våt}}/P_{\text{våt}}$$

Vannføringen i åpne kanaler kan beskrives med Mannings formel. Manningstallet beskriver ruheten i kanalen, økende ruhet gir et mindre Manningstall. Å øke den våte perimeteren og/eller redusere den hydrauliske gradienten reduserer hastigheten.

Gresset har stor betydning for ruheten i kanalen. Hastigheten er liten nær bunnen. Stilkene gir etter for økende vannføring og vil etter hvert legges flatt langs bunnen. Dette endrer ruheten og det er derfor en sammenheng mellom Manningstallet og vanddybden.

Figur 57 Mannings formel

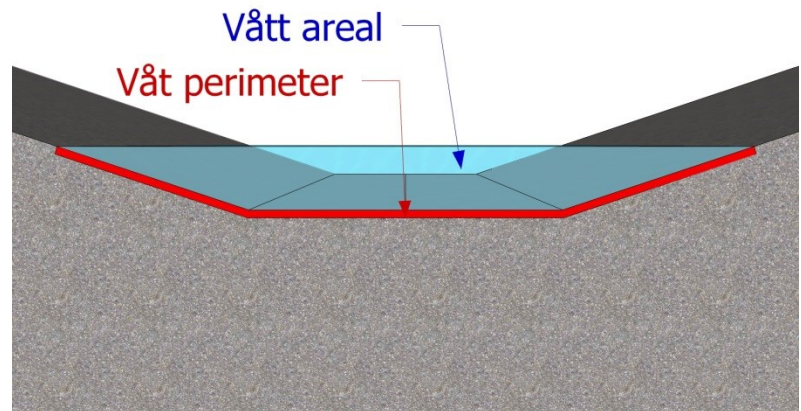
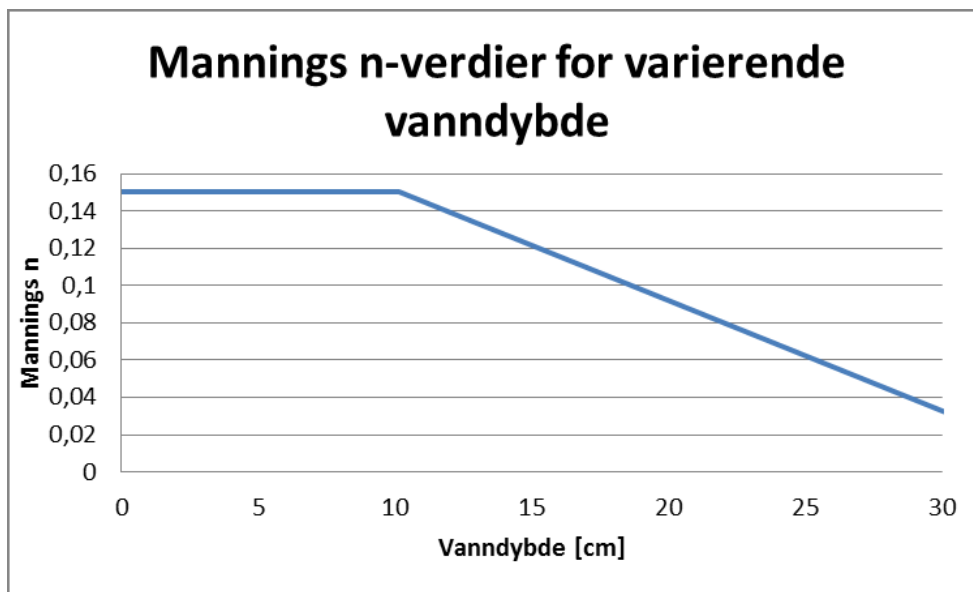


Figure 1 Våt perimeter og vått areal i en åpen kanal

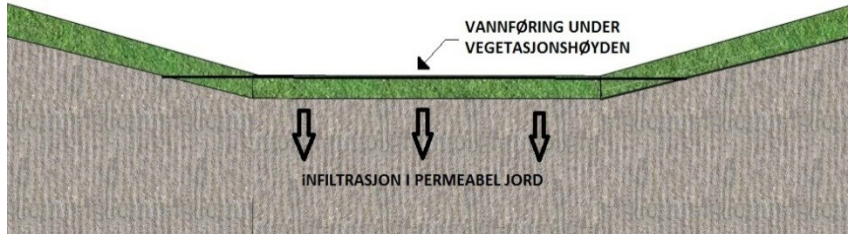
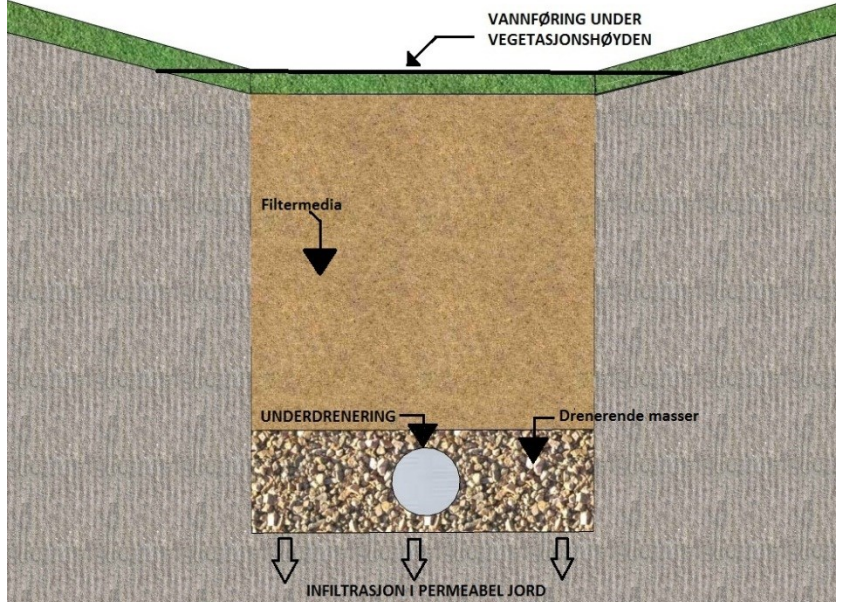


Figur 58 Mannings n-verdier for varierende vanddybde. Fra "Virginia Stormwater Management Handbook"

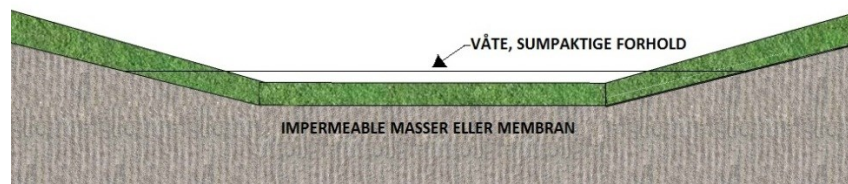
For vannføringer mindre enn 1 m³/s og helning i avrenningsretningen mindre enn 10% kan man anta statisk, uniform strømning i korte tidsperioder for åpne kanaler. Mannings formel kan derfor som en hovedregel brukes til dimensjonering av gressklede vannveger. Maksimal tillatt hastighet brukes som dimensjoneringskriterium. Grensen for ikke-eroderende hastigheter er 1,2-1,5 m/s (Claytor & Schueler, 1996).

Utforming

Det finnes 3 forskjellige typer gressklede vannveger; vanlige konvensjonelle vannveger, tørre vannveger og våte vannveger.

<p>Konvensjonelle vannveger er brede og grunne kanaler med svak helning i avrenningsretningen. Vannføring under vegetasjonshøyden reduserer hastigheten og gir en renseseffekt. Økt oppholdstid øker også muligheten for infiltrasjon.</p>	
<p>En tørr vannveg inkluderer et spesielt filtermedia for å forbedre vannkvaliteten og underdrenering for å øke infiltrasjonsraten.</p>	

Våde vannveger har våte, sumpaktige forhold i bunn av vannvegen for å øke rensegraden. Dette kan gjøres med en svak gradient og enten membran eller impermeable masser under vannvegen.



Figur 59 Forskjellige varianter av gresskledd vannveg. (Modifikasjon av Woods-Ballard et al., 2007)

Geometri

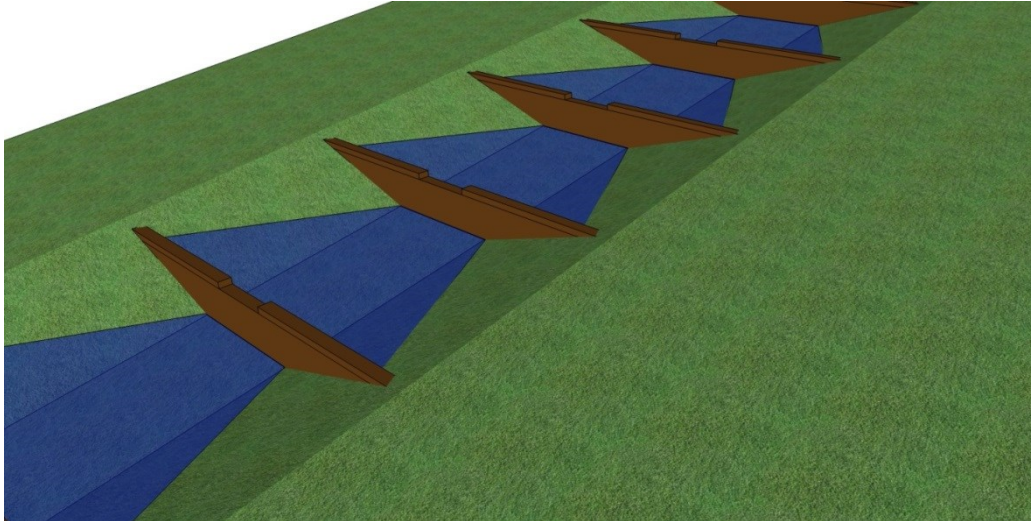
Tverrsnittet i gresskledd vannveg er brede og grunne. Dette gir en stor vannføring selv med liten høyde. Tverrsnittet blir derfor trapes- eller parabelformet. For å skape flatestrømming er bunnen ofte flat. Normal bredde på bunnen er mellom 0,5-2,5 meter for å kunne gi flatestrømming uten at det oppstår kanalisering. Sidekantene bør ikke være brattere enn 3:1 av hensyn til stabilitet og erosjon, men det anbefales at sidekanten ikke er brattere enn 4:1. Slake sidekanter bidrar til flatestrømming inn i vannvegen, større våt perimeter, lavere hastighet og mindre risiko for erosjon. Dette gir en bedre forbehandling hvis utformingen er ment å la vann renne inn i vannvegen fra kantene langs hele lengden. Vannvegen blir også lettere å vedlikeholde med slake sidekanter.

Gradient i lengderetning

Optimal gradient 1-3 %. Gradient innenfor dette intervallet hindrer stillestående vann, men gir likevel tilstrekkelig fordrøying av vannet. Maksimal gradient er 5 % for å forhindre erosjon. Vannveger med underdrenering har ikke noe minimumskrav til gradient.

Tiltak i terreng brattere enn 5%

I områder som har store gradienter er det mulig å konstruere terskeldammer eller trappetrinn. Terskeldammer bygges slik at foten av dammen oppstrøms er i samme høyde som toppen på dammen nedstrøms. Terskeldammer kan bygges opp av grove steinmaterialer, tømmerstokker, sviller eller planker eller løsmasser som såes til med gress. Nedstrøms bør dammen sikres mot erosjon, f.eks ved å plastre. Terskeldammen må forankres inn i sidene av vannvegen. For å unngå erosjon ved forankringen kan det lages en overløpskant. Nettingforsterking kan også brukes mot erosjon. Nettingforsterking legges i det øverste laget i jorda og forsterker gressrøttene. Maksimal tillatt hastighet kan da økes til 3 m/s.



Figur 60 Eksempel på plassering av terskeldammer. Foten av terskeldammen er i samme høyde som toppen på terskeldammen nedstrøms

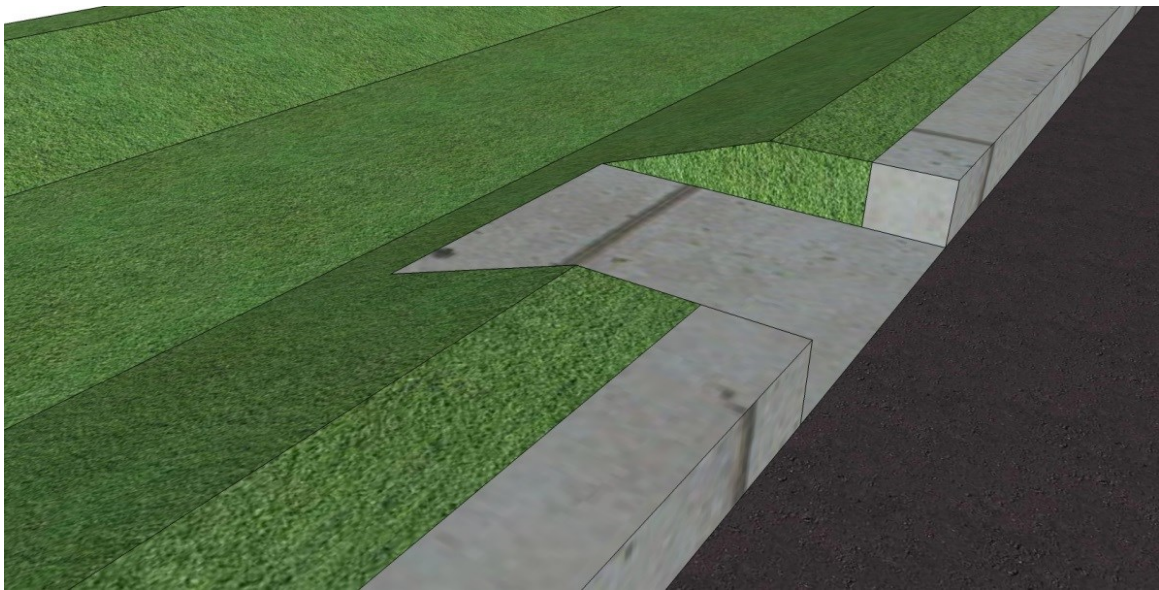


Figur 61 Trappefall kan også brukes for å redusere hastigheten i bratt terreng. Foto: Tore Leland

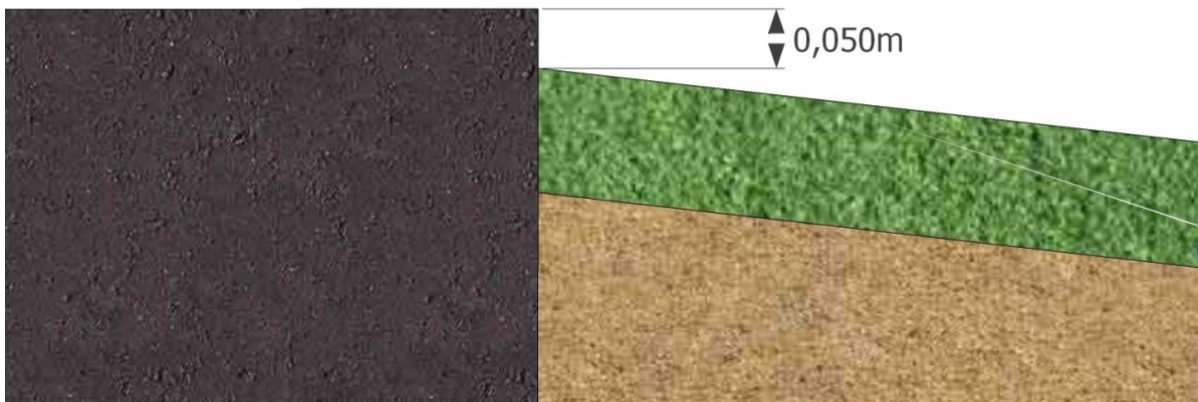
Innløp

Vann kan ledes inn i vannvegen som flatestrømning langs hele siden eller i konsentrerte innløp. Det er nødvendig med forbehandling for å hindre gjentetting av bunnen. Flatestrømning ned slake sidekanter fungerer som forbehandling. I konsentrerte innløp ved starten av vannvegen kan det bygges en terskeldam som forbehandling.

Konsentrerte innløp må erosjonssikres, dette gjelder også regelmessige konsentrerte innløp langs sidekantene og stikkrenner. Erosjonssikring kan gjøres med steinlegging eller betongplate. Langs veger bygges det etter hvert opp et lag med sedimenter i kanten. Dette kan holde tilbake vann i vegbanen og det oppstår konsentrerte innløp. For å forhindre dette bør det bygges en 50 mm terskel mellom asfaltkanten og sideskråningen hvis innløpet ikke er via konsentrerte innløp.



Figur 62 Erosjonssikring av innløp med betongplate



Figur 63 Minimum 5 cm terskel fra asfaltkant til sideskråning for å forhindre oppbygging av sedimenter

Utløp

Utløp til bekk eller kanal må skje uten at det oppstår erosjon. Dette sikres på samme måte som innløpet. Det må også etableres overløp og behovet for en sikker flomvei bør vurderes.

Utløpet kan være at forsenkingen slutter i et område som kan oversvømmes eller innløpet til et annet overvannstiltak. Forsenkinger som er designet for at alt vannet skal lagres inntil det infiltrerer trenger ikke noe utløp, men bør ha et overløp. Overløpet kan være inntak til drensledninger, f.eks en kuppelrist, som er hevet over bunnnivået i forsenkingen (Figur 66). Denne løsningen reduserer mengden slam og finpartikler som transporteres videre.



Figur 64 Utløpet til en gresskledd vannveg ender i et sedimenteringskammer for et regnbed på Risvollan. Foto: Arvid Ekle



Figur 65 Erosjonssikring ved en stikkrenne med steiner. Foto: Tore Leland



Figur 66 Kuppelrist hevet over grøftebunnen. Foto: Tore Leland

Vegetasjon

Vegetasjonen bør bestå av et tett gressdekke som er vanntolerant og erosjonsdyktig. Virginia Stormwater Manual lister opp en del kriterier for vegetasjonen:

- Dypt rotsystem som hindrer utvasking
- Høy stilkthet
- Toleranse mot oversvømmelse
- Motstand mot å bøyes ned av strømmende vann
- Evne til å gjenoppta vekst etter oversvømmelse

Hensikten med vegetasjonsdekket er å oppnå erosjonskontroll, lavere vannhastigheter og en renseeffekt. Vegetasjonsdekket bør derfor også være motstandsdyktig mot forurensningen som kan tilføres forsenkingen.

Filterlag

Det er mulig å bruke et skreddersydd filtermateriale der de stedlige massene er lite permeable. Dette filtermediumet anbefales å ha en infiltrasjonshastighet på minimum 10 cm/time.

Gressdekke vil ofte være det begrensende laget for infiltrasjonshastigheten og det gir ikke mening å ha et filtermedium med høyere hydraulisk konduktivitet enn dette. Filtermediumet består typisk av sand og kan iblandes organisk materiale (kompost) for å forbedre egenskapen til å holde igjen forurensninger. Filterlaget bør være minst 40 cm dypt. For å forbedre infiltrasjonen ytterligere kan det legges inn underdrenering.

Sikkerhet

- Liten vanddybde og slake sidekanter gir få sikkerhetsutfordringer med gresskledd forsenkinger.
- Gresskledd forsenkinger tåler ikke å bli kjørt på. Kantene kan forsterkes med steinsetting eller tilgangen kan hindres med f.eks. kantstein, gjerder og steiner.



Figur 68 Kantstein med åpning i bunn.
Foto: Tore Leland



Figur 67 Forsterking av kanter med belegningsstein. Foto: Tore Leland

Underdrenering

Underdrenering er et tiltak som kan øke infiltrasjonen. Drensledningen bør være minst 100 mm og legges i et 300 mm drenerende lag (f. eks. pukk). Drensledningen må dimensjoneres til å bortlede alt vannet som infiltrerer i den gresskledde vannvegen.

Kulvert/Stikkrenner

For å krysse veier er det nødvendig å benytte kulverter eller stikkrenner. Disse må dimensjoneres for å ta unna den samme vannføringen som den gresskledde vannvegen, men det er viktig at disse ikke blokkeres, f.eks av is og snø, søppel, løv, kvister og lignende. I Statens Vegvesen Håndbok 018 er det angitt minimumsdimensjoner som bør følges. Kulverter/stikkrenner bør legges med minst 1 % fall for å sikre tilstrekkelig gjennomrenning.

Vegtype	Minimumsdimensjon (innvendig diameter)
	Uten kummer
Hovedveg, samleveg	600 mm
Adkomstveg, gang- og sykkelveg	400 mm
Avkjørsler	300 mm

Figur 69 Anbefalt minimumsdimensjon, stikkrenner. Fra Statens Vegvesen Håndbok 018 Vegbygging



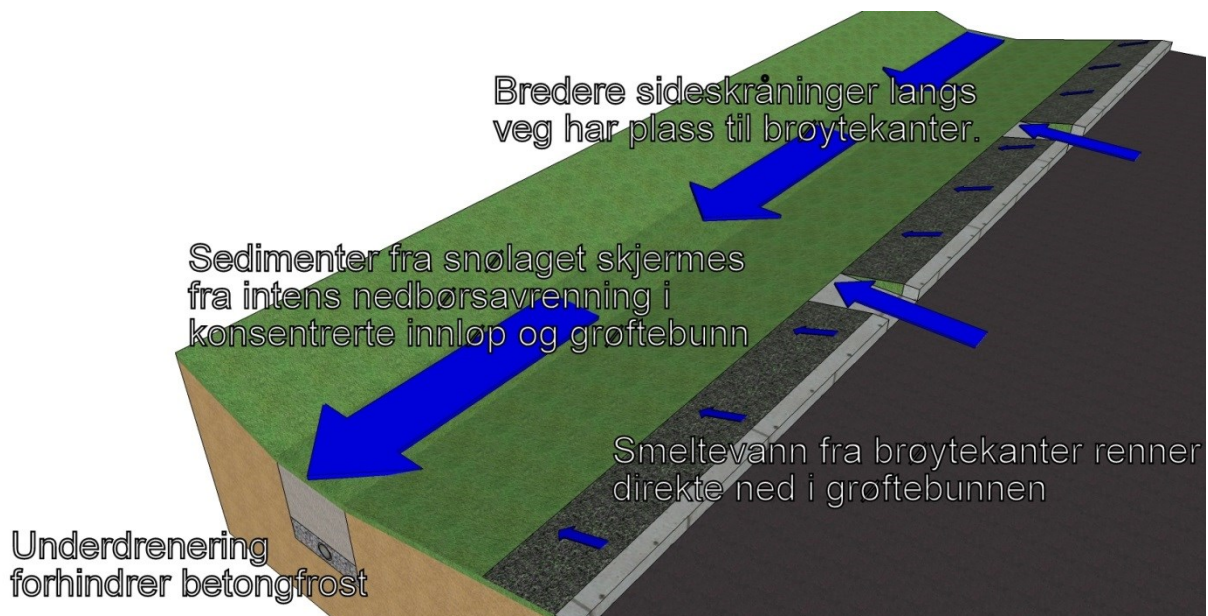
Figur 70 Stikkrenner er et kritisk punkt. Dersom den hydrauliske kapasiteten ikke er tilstrekkelig kan det oppstå oppstuvning og oversvømmelse. Foto: Tore Leland

Gresskledde forsenkinger i kaldt klima

Om vinteren er gresskledde vannveger et pålitelig transportsystem fordi det består av få kritiske punkter. Fordi det er en åpen overvannsløsning er blokkeringen lett tilgjengelig og smeltevannet blir stående i vannvegen istedenfor i gater og veger der det hindrer fremkommeligheten. Derfor er også tiltaket godt egnet som snølager. Frossen mark infiltrerer vann så lenge vanninnholdet er lavt før det fryser til. Gresskledde vannveger som skal fungere godt i kaldt klima bør derfor ha god drenering.

Muligheten for å bruke gresskledde forsenkinger som snødeponier gjør det til et verdifullt tiltak. Forsenkingen transporterer smeltevannet videre i systemet og reduserer smeltevannsvolumet ved infiltrasjon. Grove partikler forblir i stor grad igjen i forsenkingen som et tykt sedimentlag fordi smeltevannsføringen ikke har nok intensitet til å transportere dem. Dette kan likevel skje hvis det inntreffer langt mer intense nedbørshendelser etter at snøen er forsvunnet. I områder med sterkt forurenset snø, som langs høyt trafikkerte veger bør sideskråningene ha tilstrekkelig bredde til å lagre brøytekantene. Dette er for å hindre nedbørsavrenningen i å strømme over sedimentene. Sedimentene tetter også igjen overflaten, så denne praksisen vil ha en positiv effekt på infiltrasjonen.

Gresskledde forsenkinger klarer ikke å holde tilbake veisalt.



Figur 71 Tilpasning til kaldt klima

Planlegging

Bruksområder

Gresskledde vannveger brukes til bortledning ved å fange opp avrenningen fra et bestemt område og lede dette til neste ledd i overvannsystemet. Eksempler på dette kan være avrenning fra tak som ledes til et regnbed. Grøfter langs veg kan utformes som gresskledde vannveger og lede til fordrøyningsdammer. Gresskledde vannveger kan erstatte sluk og bortledning i lukkede rør langs gater. Mange oppbygde midtrabatter med kantstein har mulighet til å «vrenses», dvs. å bytte ut disse med en gresskledd vannveg. I stedet for at overvann renner tilbake i kjørebanelen og ned i et sluk blir det værende og infiltrerer eller ledes bort. Gresskledde vannveger kan ettermonteres hvis det er behov for å oppgradere overvannssystemet. Deler av overvannet infiltrerer på stedet og overskuddet ledes til eksisterende nett. Ved å plassere terskeldammer og/eller heve utløpet over grøftebunnen kan man øke vannmengden som fordrøyes.



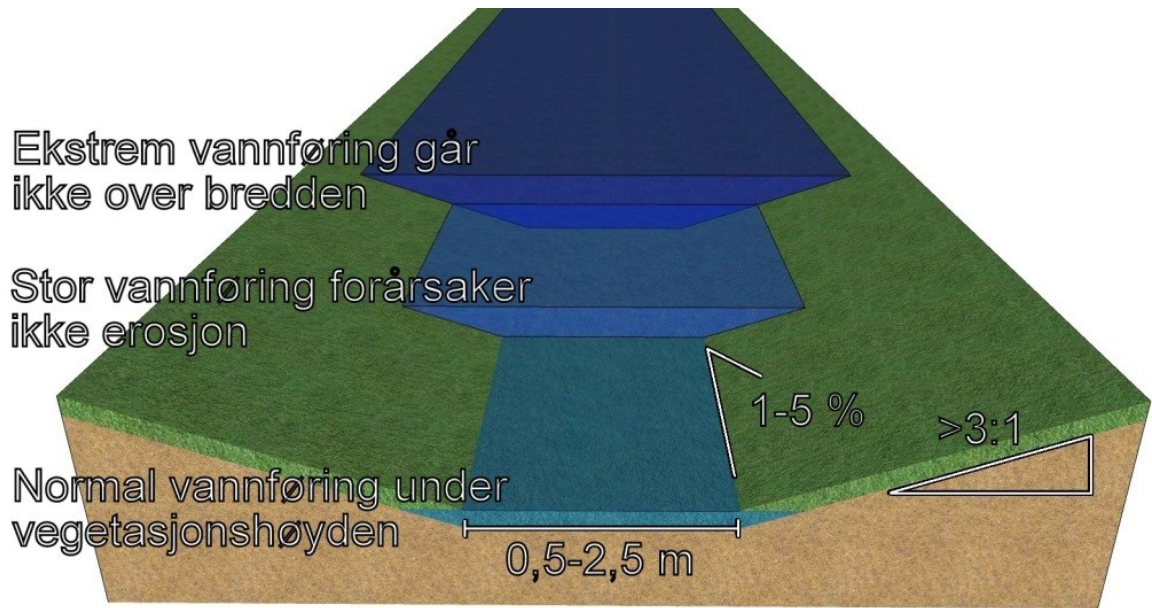
Figur 72 Ettermontering av en gresskledd vannveg på en parkeringsplass i Reykjavik, Reykjavik, Island. Foto: Tore Leland

Begrensninger

Gresskledde vannveger er normalt begrenset til mindre nedbørsfelt (5 ha eller mindre) fordi tiltaket ellers blir veldig omfattende. I bratt terreng blir det også vanskelig å redusere hastigheten tilfredsstillende uten store tiltak. Det er fordelaktig om de stedlige massene er godt drenerbare. Gresskledde vannveger legger beslag på arealer, normalt 5-10% av nedbørsfeltet. Dersom området er veldig tett bebyggt kan det være problematisk å finne plass. Man må også vurdere virkningen av infiltrasjon på stabiliteten til fundamenter, landkar og veier. Variabel rensegrad gjør at gresskledde vannveger ikke er pålitelige tiltak for å sikre vannkvaliteten med mindre de utformes for å fordrøye og infiltrere overvannet. Volumet må da bestemmes som for en overvannsdam. Dette er beskrevet i VA-miljøblad 69(Lindholm, 2008). Utløpsverdien settes da lik infiltrasjonskapasiteten.

Anlegging av gresskledde vannveger

- Vurder området der en gresskledd vannveg skal brukes.
 - Vurder nedbørsfeltets størrelse. For nedbørsfelt større enn 5 ha blir tiltaket veldig omfattende.
 - Vurder om det er tilgjengelige arealer til å anlegge en gresskledd vannveg
 - Vurder terrenget og behov for tiltak i bratte partier. Dersom gradienten blir større enn 5% må det gjøres vannhastighetsreduserende tiltak. Veldig flatt terreng kan utløse behov for underdrenering (<1 %)
 - Vurder om det er behov for underdrenering på grunn av underliggende impermeable masser
 - Vurder virkningen av å infiltrere overvann og om det kan oppstå usikkerhet rundt stabiliteten i veger, fundamenter og landkar
- Bestem linjeføringen for den gresskledd vannvegen. Linjeføringen har stor påvirkning på den estetiske oppfatningen og landskapsarkitekter bør involveres. Det bør også koordineres mot andre fagområder som kan påvirke utformingen og funksjonen, f.eks. anleggsgartner, VA ingeniør og vegingeniør.
- Vurder behovet for rensing og bestem volumet som skal fordrøyes for å infiltrere eller avrenningen der vannkvaliteten skal forbedres fra en dimensjonerende nedbørshendelse.
- Hvis infiltrasjonskapasiteten skal økes, bytt ut stedege masser med filtermedium og underdrenering. Anbefalt minimumsverdi er 10 cm/timen. Filterets dybde bør være større enn 40 cm. Sandig jord med hagekompost og evt. litt god lokal matjord er egnet som filtermedium. Underdreneringen bør være minst 100 mm og legges i et 300 mm drenerende lag (f.eks. puk)(Minnesota, 2008).
- Dersom den gresskledd vannvegen skal fordrøye og infiltrere avrenningen kan hevede utløp og terskeldammer plasseres for å skape et bestemt volum som lagres. Maksimal vannhøyde bør ikke være høyere enn 45 cm og alt vannet må infiltrere iløpet av 24-48 timer.
- Avrenningen fra en dimensjonerende normal nedbørshendelse som skal forbedre vannkvaliteten skal passere under vegetasjonshøyden med en hastighet lavere enn 0,15 m/s og en teoretisk hydraulisk oppholdstid på mer enn 9 minutter.
- Bestem avrenningen fra en stor nedbørshendelse som skal passere uten at det oppstår skader fra erosjon utifra en risikoanalyse. Norsk Vann Rapport 162 (Lindholm et al., 2008) har anbefalte minimumsverdier for dimensjonerende hyppigheter for forskjellige plasseringer. Erosjon i gresskledd kanaler oppstår når hastigheten blir større enn 1,2-1,5 m/s (Claytor & Schueler, 1996).
- Bestem avrenningen fra en ekstrem nedbørshendelse som skal passere uten at den gresskledd kanalen flommer over. Det bør være minimum 8 cm fra denne dybden og opp til kanten på vannvegen.
- I bratte partier kan det installeres terskeldammer eller trappefall for å redusere hastigheten.
- Innløp og utløp må utformes slik at det ikke oppstår erosjon. Innløpet kan være spredt innløp langs hele siden, konsentrerte punkter langs siden eller som et konsentrert innløp i toppen. Konsentrerte innløp bør derfor steinlegges. Sidekantene bør ikke være brattere enn 3:1 for å hindre erosjon, uavhengig av type innløp.



Figur 73 Dimensjonering av gresskledd vannveg

Drift og vedlikehold

- Vegetasjon
 - Gresset må vedlikeholdes slik at det er tett og frodig. Regelmessig klipping er nødvendig. Områder uten gress må repareres og nytt gressdekke etableres.
- Fjerning av rusk og søppel
 - Rusk og søppel kan forstyrre hydraulikken, endre flombaner slik at det oppstår konsentrerte vannløp og erosjon og blokkere innløp/utløp/kulverter
- Sedimentfjerning
 - Akkumulerte sedimentlag kan være sterkt forurenset, hindre gress i å vokse og tette overflaten slik at infiltrasjonen reduseres. Sedimenter som blir liggende igjen i bunnen er ikke «fjernet», de er tilbakeholdt og har mulighet for å resuspendere.
- Erosjonsskader må repareres.

Eksempler

Urridaholt

Urridaholt er et område i Garðabær kommune utenfor Reykjavík. Området er en åsside som skal bygges ut med boliger, forretninger og detaljhandel (Åstebøl & Gjerlow, 2006). Det ble foretatt en befaring på stedet i november 2012 som en del av arbeidet i TVM 4510 Fordypningsprosjekt (Leland, 2012). Området ligger i nedbørsfeltet til Urridavannet. Det er en målsetning at hverken vannstand eller vannkvalitet skal endres som følge av utbyggingen. Gresskledd vannveger inngår i en behandlingsrekke og er brukt for å samle overvann fra veier og det som ikke lar seg infiltrere lokalt. Vannvegene sørger for langsom transport ut av bebyggelsen og infiltrerer noe av overvannet underveis. Nederst, langs Urridavannet, er det bygget en større avskjærende gresskledd vannveg. Denne fordeler avrenningen på oversiden av en våtmark og er en ekstra barriere mot direkte avrenning til Urridavannet.

De gresskledd vannvegene er designet for å øke infiltrasjonen. Tverrsnittet er 2,5 meter bredt og 0,2 meter dypt. Under gressdekket er det et 0,4 meter dypt filtermedium som består av 90 % sand og 10 % jord. Under dette igjen er det et dreneringslag som er hydraulisk forbundet til et perforert rør som fylles når dreneringslaget er mettet. Konsentrerte innløp og trappefall er erosjonssikret med steiner. For å redusere hastigheten er partier som er brattere enn 4% utstyrt med trappefall. Den avskjærende vannvegen er bygget sammen med en gangveg og har en linjeføring med svinger for å passe bedre inn i landskapet. (Thorolfsson, 2008; "Urridaholt EHF," 2013; Åstebøl & Gjerlow, 2006)



Figur 74 Planlagt utbygging på Urridaholt. Landslagi EHF

Forurensningskontroll

-Opplæring og informasjon til beboere om de valgte overvannsløsningene med brosjyrer, skilt og undervisning i skolen
Forbud mot enkelte byggematerialer, f.eks takplater og maling med sink eller kobber
Veier er konstruert for å unngå unødvendig salting, dvs slake bakker



Kildekontroll

Overvann fra eiendommer blir infiltrert på eiendommen med taknedløp til perforerte rør i steinfylling



Kontroll på stedet

Gressklede forsinkinger infiltrerer deler av overvannet fra eiendommer og veger. Utløp er hevet over bunnivået for å fordrøye vannet i forsinkingen til det kan infiltrere.



Langsom transport

Overvannet som ikke blir infiltrert på stedet i forsinkingen blir transportert ut av bebyggelsen. Utformingen er slik at dette foregår langsomt for å fordrøye.



Nedstrømskontroll

Avskjærende gresskledd forsinking nedstrøms tar imot all avrenning fra bebyggelsen. Denne er bygget uten utløp og dimensjonert for å fordrøye avrenningen fra større nedbørshendelser til den infiltrerer.

Våtmark mellom den avskjærende gressklede forsinkingen og Urridavannet etableres det en våtmark som infiltrert vann må passere før det når innsjøen

E6 Gardermoen-Biri



Figur 75 Kartutsnitt E6 Gardermoen-Biri. Statens Vegvesen

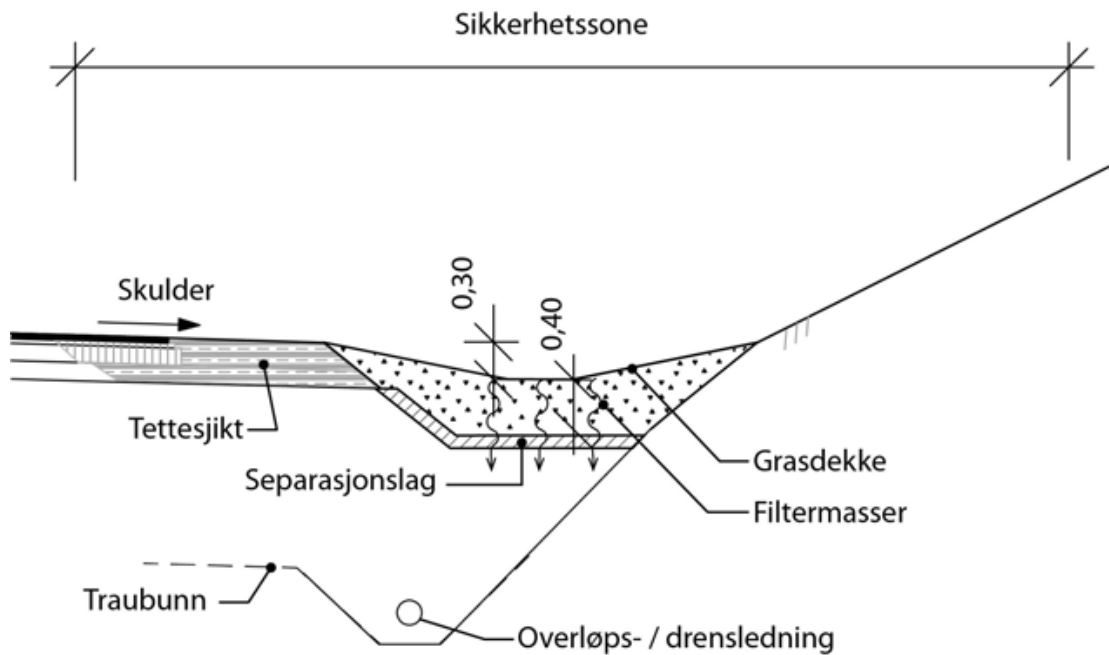
Gardermoen og nordover til en firefelts-veg med midtdeler. Utbyggingen på strekningen Gardermoen-Kolomoen startet i desember 2007 og er forventet ferdig i 2014. Det er planlagt oppstart på strekningen Kolomoen-Biri i 2014. Overvannshåndteringen er planlagt å løses med grøfter som infiltrerer og renses overvannet. Overvannshåndteringen er beskrevet av COWI v/ Åstebøl (Åstebøl, Simonsen, Nordahl, & Moldestad, 2008).

Det er 3 viktige forutsetninger for løsningen:

- Kontrollert bortledning av overvann fra kjørebane til infiltrasjonsløsningen.
- Infiltrasjonsmassene må tilfredsstillende krav til sammensetning for å gi tilfredsstillende infiltrasjonskapasitet og binding av forurensninger
- Veioverbyggingen må sikres fullgod drenering.

Overvannet skal håndteres etter en 3-ledds strategi (Åstebøl et al., 2008). Avrenning fra 1 års regn infiltrerer i grøftene. Når denne infiltrasjonskapasiteten overskrides går overløp til sandfangskummer som er hevet 15 cm over bunnivået. Herfra går det en overløps-/drensledning som er dimensjonert for 10-års nedbør. Ved nedbør over 10-års gjentaksintervall ledes overvannet i grøfte til nærmeste lavbrekk og derfra til terreng eller vassdrag. EU's vanddirektiv var en av grunnene for den valgte løsningen. Direktivet setter krav til kontrollert behandling og tilbakeholdelse av forurensninger.

Infiltrasjonsgrøften er utformet etter beskrivelsen i Statens Vegvesen Håndbok 018 Vegbygging, kapittel 403.47 Filtergrøft. Tettesjiktet skal gi en effektiv ledning av overvann til infiltrasjonsgrøften og forhindre en kortslutning ned til overbyggingen. Når lengdefallet øker reduseres fordrøyningsvolumet. Dette reguleres ved å sette inn terskler i grøften.



Figur 76 Eksempel på utforming av filtergrøft. Statens Vegvesen Håndbok 018

Kostnadene for infiltrasjonsgrøften varierer med normalprofilen og fra sted til sted. For normalprofil i jordskjæring kom løsningen likt ut med en tradisjonell løsning. For øvrige normalprofiler ble løsningen dyrere. Filtermassen var det viktigste fordyrende elementet.

Infiltrasjonsgrøften forventes å ha minst like god renseseffekt som et sentralt rensedbasseng og tilfredsstillende høyt krav til rensing av overvann. Fordelene med den valgte løsningen er færre kummer og ledninger, unngå bygging av sentral renseløsning, mindre drift på overvannssystemet og en mer kontrollert rensing av overvannet (nær kilden) (Åstebøl et al., 2008). Målinger av infiltrasjonskapasiteten i vegggrøft ved E6 Minnesund viste at denne var 7,5-27,5 cm/time ved overflaten (Åstebøl & Sundberg). Denne hadde vært i drift i 15 år. Infiltrasjonskapasiteten i filtermassen under overflaten var høyere og overflaten var derfor begrensende for infiltrasjonen.

Beregningseksempel

Gresskledd vannveger skal brukes i overvannshåndteringen av nytt boligområde i Trondheim. Boligområdet skal bestå av rekkehus. Nedbørsfeltet er på 0,62 ha (6200 m²) i et ganske flatt område. Forslaget er en gresskledd vannveg på 250 meter. Gradienten i lengderetning er 1 % og skråningen i sidekantene er 3:1. Avrenningskoeffisienten er 0,4. Underliggende masser er lite permeable, så det legges inn et 40 cm filtermedium med underdrenering.

Beregning av vannkvalitetsvolum:

I Trondheim kan vannkvalitetsvolumet beregnes som avrenningen fra 12,5 mm nedbør (Bakken, 2013).

Vannkvalitetsvolumet beregnes som:

$$VKV = \frac{\phi * P * A}{1000} [m^3]$$

$$\phi = \text{Avrenningskoeffisient}$$

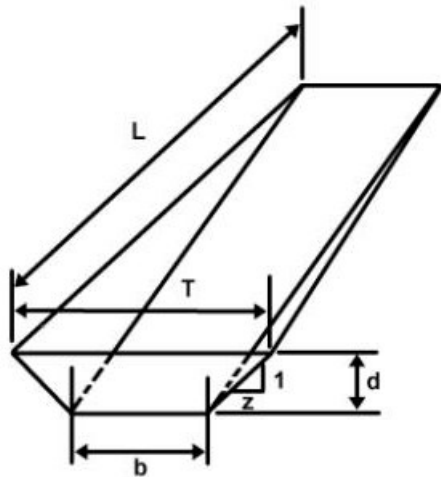
$$A = \text{Nedslagsfeltets areal [m}^2]$$

$$P = \text{Nedbør [mm]}$$

$$VKV = \frac{0,4 * 12,5 \text{ mm} * 6200 \text{ m}^2}{1000 \frac{\text{mm}}{\text{m}}} = 31 \text{ m}^3$$

Alternativ 1: Avrenning fra en normal nedbørshendelse skal fordrøyes og infiltrere i vannvegen innen 24 timer

Den gresskledd vannvegen skal kunne fordrøye og infiltrere avrenningen innen 24 timer.



Figur 77 Trapeformet gresskledd vannveg

Volumet i en trapesformet gresskledd vannveg er gitt som:

$$V = \frac{d^2 z L}{3} + \frac{dbL}{2} \quad z=3 \quad d=25 \text{ cm}$$

Det forsøkes med en bunnbredde $b=0,5$ m og 25 cm terskeldammer. Arealet i grøftebunnen blir da 125 m^2 .

Terskeldammene plasseres slik at foten er i samme høyde som toppen på neste terskel.

$$L = 0,25 \text{ m} / 0,01 = 25 \text{ m}$$

$$V = \frac{(0,25 \text{ m})^2 * 3 * 25 \text{ m}}{3} + \frac{0,25 \text{ m} * 1 \text{ m} * 25 \text{ m}}{2}$$

$$V = 3,13 \text{ m}^3$$

Fordi den gresskledd vannvegen er 250 meter lang er det plass til 10 slike seksjoner.

$$V_{TOT} = V * 10 = 31,25 \text{ m}^3$$

$V_{TOT} > VKV$ Dimensjonen er stor nok til å lagre vannkvalitetsvolumet

Alternativ 2: Avrenning fra en normal nedbørshendelse skal renne gjennom den gresskledd vannvegen under vegetasjonshøyden.

Den gresskledd vannvegen skal transportere avrenningen til et rensiltak nedstrøms.

Vannvegen skal fungere som en avlastning ved å fordrøye og infiltrere deler av overvannet.

Dimensjoneringskriteriet er at avrenningen skal skje under vegetasjonshøyden og hastigheten skal ikke være større enn $0,15 \text{ m/s}$.

Vannkvalitetsvolumet på 60 minutter benyttes som designstorm for en normal nedbørshendelse.

$$I = \frac{12,5 \text{ mm}}{60 \text{ min}} = 34,7 \frac{l}{s \text{ ha}}$$

Den rasjonelle metode brukes til å beregne avrenningen fordi nedbørsfeltet er lite (<20 ha).

$$Q = \varphi * I * A = 0,4 * 0,62 \text{ ha} * 34,7 \frac{\text{l}}{\text{s ha}} = 8,6 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Det antas at vegetasjonshøyden er 10 cm. Mannings formel brukes til å beregne størrelsen på vannvegen.

$$Q = A * \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}}$$

$$A = b * d + d^2 * z \quad d = 0,1 \text{ m} \quad z = 3 \quad I = 0,01$$

$$P = b + 2 * \sqrt{d^2 + (z * d)^2} \quad R = \frac{A}{P}$$

Mannings formel itereres til kapasiteten er tilfredstillende ($Q > 8,6 \text{ l/s}$) ved å endre bunnbredden b. Mannings n-verdi finnes fra Figur 58

Tabell 20 Beregnet vannføring når bredden er 0,5 meter

n	d [m]	A [m ²]	P [m]	R [m]	Q [l/s]	v [m/s]
0,15	0,1	0,08	1,13	0,07	9,11	0,11
0,14	0,11	0,09	1,20	0,08	11,41	0,12
0,14	0,12	0,10	1,26	0,08	14,11	0,14
0,13	0,13	0,12	1,32	0,09	17,28	0,15
0,13	0,14	0,13	1,39	0,09	20,98	0,16
0,12	0,15	0,14	1,45	0,10	25,30	0,18
0,114	0,16	0,16	1,51	0,10	30,36	0,19
0,11	0,17	0,17	1,58	0,11	36,28	0,21
0,10	0,18	0,19	1,64	0,11	43,21	0,23
0,10	0,19	0,20	1,70	0,12	51,37	0,25
0,09	0,2	0,22	1,76	0,12	61,00	0,28
0,08	0,21	0,24	1,83	0,13	72,42	0,31
0,08	0,22	0,26	1,89	0,13	86,07	0,34
0,07	0,23	0,27	1,95	0,14	102,51	0,37
0,07	0,24	0,29	2,02	0,15	122,50	0,42
0,06	0,25	0,31	2,08	0,15	147,14	0,47
0,05	0,26	0,33	2,14	0,16	177,98	0,53
0,05	0,27	0,35	2,21	0,16	217,37	0,61
0,04	0,28	0,38	2,27	0,17	268,98	0,72

Når dybden er 10 cm er vannføringen 9,11 l/s og hastigheten er 0,11 m/s. Dimensjonene er OK.

Alternativ 2: Avrenning fra en stor nedbørshendelse skal ikke skape erosjon i vannvegen

Den gresskledde vannvegen i alternativ 2 dimensjoneres videre. Det foreslås at nedbør med 10 års gjentaksintervall ikke skal skape erosjon i vannvegen. Den rasjonelle metode brukes til å beregne avrenningen. Det antas at tilrenningstiden på overflaten er 3 minutter.

Beregnet strømmingstid i ledningen: $t = \frac{250 \text{ m}}{1,2 \text{ m/s}} = 3,5 \text{ min}$

$$I = 209,34 \frac{l}{s \text{ ha}} \quad t_c = 3 + 3,5 = 6,5 \text{ min}$$

$$Q = \varphi * I * A = 0,4 * 0,62 \text{ ha} * 209,34 \frac{l}{s \text{ ha}} = 52 \frac{l}{s}$$

Vannføringen ved nedbørshendelse med 10 års gjentaksintervall er 52 l/s med antatt konsentrasjonstid på 6,5 minutter

Dimensjoneringskriteriet er maksimal tillatt hastighet. $v_{maks} = 1,2 \text{ m/s}$

Vannføringen er allerede beregnet i Tabell 14.

Når vanddybden er 0,2 meter er vannføringen 61 l/s og hastigheten er 0,28 m/s. 0,28m/s er mye lavere enn den antatte hastigheten på 1,2 m/s. Dette betyr at konsentrasjonstiden er høyere enn først antatt og intensiteten for en nedbørshendelse med 10 års gjentaksintervall er lavere. Denne nedbørshendelsen forårsaker uansett ikke erosjon i den gresskledde vannvegen og det er ikke nødvendig med nye beregninger.

Alternativ 2: Den gresskledde vannvegen skal ha kapasitet til å lede avrenningen fra en ekstrem nedbørshendelse uten oversvømmelse

Den gresskledde vannvegen i alternativ 2 dimensjoneres videre. Avrenningen fra en ekstrem nedbørshendelse skal ledes gjennom den gresskledde vannvegen med minst 8 cm dekkhøyde. Det foreslås nedbør med 20 års gjentaksintervall. Det antas en hastighet på 0,2 m/s i ledningen.

Beregnet strømmingstid i ledningen: $t = \frac{250 \text{ m}}{0,2 \text{ m/s}} = 20,8 \text{ min}$

$$I = 104 \frac{l}{s \text{ ha}} \quad t_c = 3 + 20,8 = 23,8 \text{ min}$$

$$Q = \varphi * I * A = 0,4 * 0,62 \text{ ha} * 104 \frac{l}{s \text{ ha}} = 25,8 \frac{l}{s}$$

Avrenningen ved en nedbørshendelse med 20 års gjentaksintervall er 25,8 l/s med antatt konsentrasjonstid på 20, 8 minutter.

Vannføringen sjekkes mot dybden i Tabell 20. Ved en dybde på 0,16 meter er kapasiteten 30, 36 l/s. Ved å legge til 8 cm dekkhøyde blir minimumshøyden 24 cm. Kapasiteten i den gresskledde vannvegen er da 122,5 l/s. Bredden på denne gresskledde vannvegen blir 1,94 meter med sideskråningene. Med en lengde på 250 meter blir overflatearealet 485 m².

$$\frac{485 \text{ m}^2}{6200 \text{ m}^2} = 7,8 \%$$

Den gresskledde vannvegen legger beslag på 7,8 % av nedbørsfeltet.

Referanser:

- Bakken, Øyvind. (2013). *Evaluering av overvannskvaliteten i nedslagsfeltet for Fredlybekken, og mulighet for storskalaimplementering av regnbed*. . Masteroppgave. Veileder: Tone M. Muthanna. Institutt for Vann og Miljøteknikk. NTNU. Trondheim.
- Bøyum, Åsmund, Eidsmo, Tomas, Lindholm, Oddvar, Nordeide, T., Semb, T, Skretteberg, R., & Markhus, E. (1997). *Anvendt urbanhydrologi. Publikasjon nr. 10, 1997 NVE*.
- Claytor, Richard A, & Schueler, Thomas R. (1996). *Design of stormwater filtering systems*: Chesapeake Research Consortium.
- Leland, Tore. (2012). *TVM 4105: Gresskleddedde forsøkinger i norsk klima*. (Fordypningsprosjekt. Veileder: Sveinn T. Thorolfsson), NTNU, Trondheim.
- Leland, Tore. (2013). *Gresskleddedde vannveier i norsk klima*. Veileder: Sveinn T. Thorolfsson. (Masteroppgave), NTNU, Trondheim.
- Lindholm O., Endresen S., Smith B. T., Thorolfsson S. (2012). Norsk Vann Rapport193/2012 Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportssystem: Norsk Vann.
- Lindholm, Oddvar. (2008). Overvannsdammer – Beregning av volum. VA-miljøblad nr. 69. Norsk Rørsenter.
- Lindholm, Oddvar, Endresen, Svein, Thorolfsson, ST, Sægrov, Sveinung, Jakobsen, Guttorm, & Aaby, Lars. (2008). Norsk Vann Rapport 162/2008 Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering (pp. 79): Norsk Vann.
- Mays, Larry W. (2001). *Stormwater collection systems design handbook*: McGraw-Hill Professional. Minnesota, Stormwater Steering Committee. (2008). *Minnesota Stormwater Manual*. St. Paul, MN: Minnesota Pollution Control Agency.
- Muthanna, T.M. (2007). *Bioretention as a Sustainable Stormwater Management Option in Cold Climates*. . ([PhD. Veileder: Sveinn T. Thorolfsson]), Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet.
- Paus, Kim Aleksander Haukeland. (2012). Forelesningsnotater TVM4126 VA-teknikk VK. Urban Stormwater characteristics. 10.11.2012. Trondheim: NTNU.
- Thorolfsson, Sveinn T. (2008). Stormwater management at Urridavatn in Iceland. *In proceedings of XXV Nordic Hydrological Conference. August 11-13 2008. Reykjavik, Iceland*.
- Thorolfsson, Sveinn T. (2012a). *Hydrologi-Urbanhydrologi for overvannshåndtering*. Trondheim: NTNU, Institutt for vann og miljøteknikk.
- Thorolfsson, Sveinn T. (2012b). *Overvannsteknologi*. Trondheim: NTNU. Institutt for vann & miljøteknikk.
- Urridaholt EHF. (2013). Retrieved 28.05.2013, 2013, from www.urridaholt.is
- Åstebøl, Svein Ole, & Gjerlow, Sverre O. (2006). SUDS-Urridaholt Final Report. COWI.
- Åstebøl, Svein Ole, Simonsen, Øyvind, Nordahl, Hallgeir, & Moldestad, Kristin. (2008). Statens vegvesen Region Øst, E6-prosjektet Gadermoen-Biri. Infiltrasjon av overvann i grøft. COWI.
- Åstebøl, Svein Ole, & Sundberg, Johan. Statens Vegvesen Region Øst, Undersøkelse av infiltrasjon og forurensning i veggrøft. COWI. 2010.

10 Vedlegg B: Faktaark ExFlood-Anlegging av gresskledd vannveger i Norge



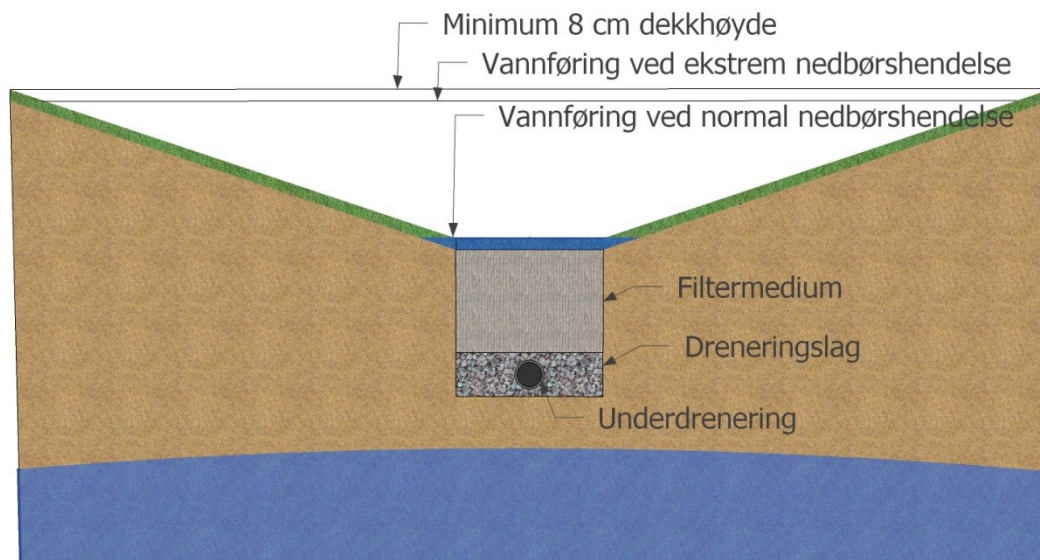
Foto: Svein T. Thorolfsson. Urridaholt, Island

Tore Leland (masterstudent VA-teknikk, NTNU) E-post: torele@stud.ntnu.no
Faktaark juni 2013, versjon 1.0

Gresskledd vannveger er et tiltak for åpen overvannshåndtering. Gjennom transport, infiltrasjon og forbedring av vannkvaliteten kan gresskledd vannveger knytte ulike LOD-tiltak (Lokal OvervannsDisponering) sammen og redusere belastningen på disse. De kan inngå som elementer i park- og rekreasjonsområder og *kan* brukes som snødeponi om vinteren. Gresskledd vannveger er populære tiltak i utlandet og forefinnes under mange navn: Swales (England og USA), vadi eller V (Danmark), svackdiken (Sverige) og Mulden-Rigolen (Tyskland). Dette faktaarket gjennomgår grunnprinsippene for utforming av gresskledd vannveger og mulige fordeler og ulemper.

Overvann kan håndteres etter 3-leddstrategien: 1) fang opp og infiltrer alle mindre nedbørmengder, 2) forsink og fordrøy større episoder og 3) sikre trygge flomveier for store nedbørmengder (Lindholm et al., 2008). En gresskledd vannveg er et åpent overvannstiltak der hovedhensikten er å oppnå langsom og trygg transport av overvannet (ledd 2 og 3 i 3-leddstrategien). Dette er illustrert i figur 1. Langsom transport reduserer flomtoppen og gir mulighet for infiltrasjon av overvannet underveis. Forurensinger holdes tilbake, hovedsakelig gjennom sedimentering, infiltrasjon i jorda og filtrering gjennom vegetasjonsdekket. Tiltaket kan brukes som alternativ til overvannshåndtering via rørsystem, og kan lede vann fra små flater som tak over plen, til større nedbørfelt som P-plasser og veger, til andre LOD-løsninger eller bekker. Gresskledd vannveger er utformet med brede, grunne tverrsnitt for at normal vannføring går under vegetasjonshøyden, fordi vegetasjonen bremser vannstrømmen. Underliggende masser *kan* bestå av et filtermedium. Utløpet kan heves over grøftebunnen for

å lagre overvann til det infiltrerer. Gresskledd vannveger har *ikke* et permanent vannspeil.



Figur 78 Gresskledd vannveg med filtermedium og underdrenering

Fordeler

- Kan erstatte overvannsledninger
- Knytter forskjellige LOD-tiltak sammen og reduserer belastningen ved å redusere maksimal vannføring, vannvolum og total masse forurensninger
- Det grunne, brede tverrsnittet forenkler vedlikehold
- Passer godt langs veier, slake sidekanter gir økt trafikksikkerhet.
- Kan fungere som snødeponi der vannvegen ikke skal håndtere flomvann
- Godt egnet til å fange opp avrenning fra eiendommer og veier
- Mulig å ettermontere for å oppgradere overvannshåndteringen

Ulemper

- Vanskelig å benytte i bratt terreng
- Kan oppstå erosjonsproblemer
- Arealbeslag og eventuelt filtermedium med underdrenering kan være fordyrende
- Manglende erfaring i norsk klima mht. anlegging funksjon og driftskostnader.
- Plenklipping med tunge traktorklippere kan skade gressdekket når jorda er fuktig
- Varierende renseseffekt gjør at gresskledd vannveger ikke er egnet som eneste rensesiltak med mindre den utformes for å fordrøye og infiltrere avrenningen.

Eksempler

På Urridaholt, like ved Reykjavik, Island, er gresskledd vannveger en sentral del av overvannshåndteringen. Gresskledd vannveger er lagt på parkeringsplasser og langs veger. Avrenning fra eiendommer og veger som ikke infiltreres lokalt fanges opp i de gresskledd vannvegene. De gresskledd vannvegene infiltrerer overvannet og gir langsom transport ut av området. En stor gresskledd vannveg fungerer som en barriere mot direkte avrenning til Urridavatnet. Ved å heve utløpet har denne et magasinivolum for å lagre overvann til det rekker å infiltrere. De gresskledd vannvegene er en del av en helhetlig overvannshåndtering som innebærer forurensningkontroll, infiltrasjon av overvann på stedet (kildekontroll), langsom transport og kontroll nedstrøms (infiltrasjon gjennom gresskledd vannveg og våtmark som barriere mot resipient). (Thorolfsson, 2008; "Urridaholt EHF," 2013)



Figur 79 Gresskledd vannveg i Augustenborg. Fotograf: T. Leidstedt

Da avløpssystemet i Augustenborg, Malmø, måtte oppgraderes valgte kommunen å benytte fellesledningen til spillvann og la overvannet renne i bl.a. gressdekte vannveier.

Strategi

Avhengig av topografi, grunnforhold og ønsket virkning etter 3-punktstrategien, legges følgende punkter til grunn ved planlegging:

- Den gresskledd vannvegen dimensjoneres for at en normal nedbørshendelse skal passere under en antatt vegetasjonshøyde med lav hastighet
- En stor nedbørshendelse skal ledes gjennom den gresskledd vannvegen uten at det oppstår erosjonskader
- En ekstrem nedbørshendelse skal passere gjennom den gresskledd vannvegen uten at det oppstår oversvømmelse

Anlegging av gresskledd vannveg

- Vurder området der en gresskledd vannveg skal brukes.
 - Vurder nedbørsfeltets størrelse. For nedbørsfelt større enn 5 ha blir tiltaket veldig omfattende.
 - Vurder om det er tilgjengelige arealer til å anlegge en gresskledd vannveg
 - Vurder terrenget og behov for tiltak i bratte partier. Dersom gradienten blir større enn 5 % må det gjøres vannhastighetsreducerende tiltak. Veldig flatt terreng kan utløse behov for drenering (<1 %)
 - Vurder om det er behov for drenering på grunn av underliggende impermeable masser
 - Vurder virkningen av å infiltrere overvann og om det kan oppstå usikkerhet rundt stabiliteten i veger, fundamenter og landkar
- Bestem linjeføringen for den gresskledde vannvegen. Linjeføringen har stor påvirkning på den estetiske oppfatningen og landskapsarkitekt bør involveres. Det bør også koordineres mot andre fagpersoner som anleggsgartner, VA ingeniør og vegingeniør.
- Vurder behovet for rensing av vannet, og bestem volumet som skal fordrøyes for å infiltrere avrenningen der vannkvaliteten skal forbedres fra en dimensjonerende nedbørshendelse.
- Hvis infiltrasjonskapasiteten skal økes, bytt ut stedegne masser med filtermedium og drenering. anbefalt minimumsverdi er 10 cm/timen som norske regnbed (Braskerud, Paus, & Ekle, 2013) Filterets dybde bør være større enn 40 cm. Sandig jord med hagekompost og evt. litt god lokal matjord er egnet som filtermedium. Dreneringen bør være minst 100 mm og legges i et 300 mm drenerende lag (f.eks puk) (Minnesota, 2008) med fiberduk mellom drenslag og filtermedium. For å opprettholde god infiltrasjon, må ikke jorda komprimeres hverken under etablering eller under drift. Dette betyr at tunge anleggsmaskiner ikke kan kjøre over.
- Avrenningen fra en dimensjonerende normal nedbørshendelse som skal forbedre vannkvaliteten skal passere under vegetasjonshøyden med en hastighet lavere enn 0,15 m/s og en teoretisk oppholdstid på mer enn 9 minutter. Bestem nødvendige dimensjoner, f.eks med Mannings formel. Typiske verdier for Mannings n-verdi er 0,03-0,15 (Virginia, 1999).
- Bestem avrenningen fra en stor nedbørshendelse som skal passere uten at det oppstår skader fra erosjon utifra en risikoanalyse.. Erosjon i gresskledd kanal oppstår når hastigheten blir større enn 1,2-1,5 m/s (Claytor & Schueler, 1996).
- Bestem avrenningen fra en ekstrem nedbørshendelse som skal passere uten at den gresskledd kanalen flommer over. Det bør være minimum 8 cm fra denne dybden og opp til kanten på vannvegen.
- I bratte partier kan det installeres terskeldammer eller trappfall for å redusere hastigheten.
- Innløp og utløp må utformes slik at det ikke oppstår erosjon. Et eksempel på dette er vist i figur 3. Innløpet kan være spredt innløp langs hele siden, konsentrerte punkter

langs siden eller som et konsentrert innløp i toppen. Konsentrerte innløp bør derfor steinlegges. Sidekantene bør ikke være brattere enn 3:1 for å hindre erosjon, uavhengig av type innløp.

- Vedlikeholdet består i regelmessig klipping og rydding av søppel, å sørge for et helt og fint gressdekke og reparasjoner av erosjonsskader etter behov.



Figur 81 "Avskjærende" gresskledd forsenking mellom Urridavatn og bebyggelsen på Urridaholt fordrøyer og



Figur 83 Gresskledd forsenkinger tåler ikke belastningen fra kjøretøyer. Her er kantene forsterket med belegningsstein. Urridaholt, Island. Foto: Tore Leland



Figur 80 Erosjonsikring av konsentrert innløp med steinlegging. Urridaholt, Island



Figur 82 Bratte partier forseres med trappefall. Utløpet er hevet over bunnivået i grøfta for å la overvannet infiltrere. Urridaholt, Island. Foto: Tore Leland



Figur 84 Ettermontering av gresskledd forsenking på en parkeringsplass i Reykjavik. Foto: Tore Leland

Dette faktaarket baserer seg på deler av Tore Leland sin masteroppgave (Leland, 2013), veiledet av Sveinn T. Thorolfsson, NTNU.

Referanser:

- Braskerud, Bent Christen, Paus, Kim Aleksander Haukeland, & Ekle, Arvid. (2013). NVE Rapport nr 3-2013 Anlegging av regnbed.
- Claytor, Richard A, & Schueler, Thomas R. (1996). *Design of stormwater filtering systems*: Chesapeake Research Consortium.
- Leland, Tore. (2012). *TVM 4105: Gresskleddde forsenkinger i norsk klima*. (Fordypningsprosjekt. Veileder: Sveinn T. Thorolfsson), NTNU, Trondheim.
- Leland, Tore. (2013). *Gresskleddde vannveier i norsk klima*. Veileder: Sveinn T. Thorolfsson. (Masteroppgave), NTNU, Trondheim.
- Lindholm, Oddvar, Endressen, Svein, Thorolfsson, ST, Sægrov, Sveinung, Jakobsen, Guttorm, & Aaby, Lars. (2008). Norsk Vann Rapport 162/2008 Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering (pp. 79): Norsk Vann.
- Minnesota, Stormwater Steering Committee. (2008). *Minnesota Stormwater Manual*. St. Paul, MN: Minnesota Pollution Control Agency.
- Thorolfsson, Sveinn T. (2008). Stormwater management at Urridavatn in Iceland. *In proceedings of XXV Nordic Hydrological Conference. August 11-13 2008. Reykjavik, Iceland*.
- Urridaholt EHF. (2013). Retrieved 28.05.2013, 2013, from www.urridaholt.is
- Virginia, Stormwater Management Handbook. (1999) (1 ed., Vol. 1). Richmond, VA: Virginia Dept. of Conservation and Recreation.

11 Vedlegg C: Gresskledd vannveger reduserer belastningen på overvannssystemet!



Gresskledd vannveger er et tiltak for åpen overvannshåndtering som kan transportere, infiltrere og forbedre kvaliteten på overvann. Gresskledd vannveger kan være et alternativ til sluk og lukkede ledninger. I kaldt klima er det et pålitelig transportsystem og kan fungere som snølager.

Figur 85
Forfatter:
Tore Leland,
masterstudent
i VA-teknikk,
NTNU



Figur 86 Gresskledd vannveg på Urridaholt, Island, reduserer og jevner ut avrenningen fra et boligområde. Foto: Tore Leland

Bakgrunn

Denne artikkelen er en presentasjon av resultatet i min masteroppgave ved Institutt for Vann og Miljøteknikk på NTNU våren 2013. I masteroppgaven blir det undersøkt hvilke erfaringer som er gjort med bruk av gressklede vannveger både i Norge og utlandet. Målet er å lage et utkast til en veileder for bruk og utforming av gressklede vannveger i norsk klima. Veileder for masteroppgaven er Sveinn T. Thorolfsson.

Vannforskriften § 4 om miljømål for overflatevann og vannressursloven § 7 om vannets løp i vassdrag og infiltrasjon i grunnen gjør det nødvendig med en overvannshåndtering som også tar vare på vannkvaliteten i resipienten. Blå/grønne overvannsløsninger er interessante som et supplement til tradisjonelle «grå» overvannsløsninger for å nå disse målene. Blå/grønne overvannsløsninger kan inngå i park- og rekreasjonsområder, Ilaparken i Trondheim er et eksempel på dette. Det kalde klimaet i Norge gir ekstra utfordringer. Forurensninger akkumuleres i snøen over flere måneder og smeltevannet om våren kan inneholde svært høye konsentrasjoner. Is og snø kan blokkere sluk i gater og veier, dette skaper problemer for fremkommeligheten.

Gressklede vannveger

En gresskledd vannveg er en grunn grøft som sørger for trygg bortledning av overvann, samtidig som forsinkelse og fordrøyning skal være størst mulig. Dette skiller de fra tradisjonelle grøfter og åpne kanaler som er utformet for rask bortledning av overvannet. Mest mulig infiltrasjon nære kilden og utjevning av vannføringen reduserer belastningen på overvannssystemet nedstrøms. Det grunne tverrsnittet skal fremme flatestrømming i vannvegen. Dette øker infiltrasjonsflaten og normal vannføring foregår under vegetasjonshøyden. Vegetasjonen er viktig for strømningsmotstanden. Forurensninger tilbakeholdes ved sedimentering, infiltrasjon og filtrering gjennom vegetasjonen. Over tid blir en betydelig andel av forurensningene tilbakeholdt, men perioder med høy vannføring kan frigi, fremfor å tilbakeholde forurensninger. Gressklede vannveger bør derfor sees på som et tiltak som reduserer og jevner ut belastningen på andre tiltak. Andre navn på gressklede vannveger er «swales» (engelsk), «svackdiken» (svensk), «vadi» eller V (dansk) og «Mulden-Rigolen» (tysk).

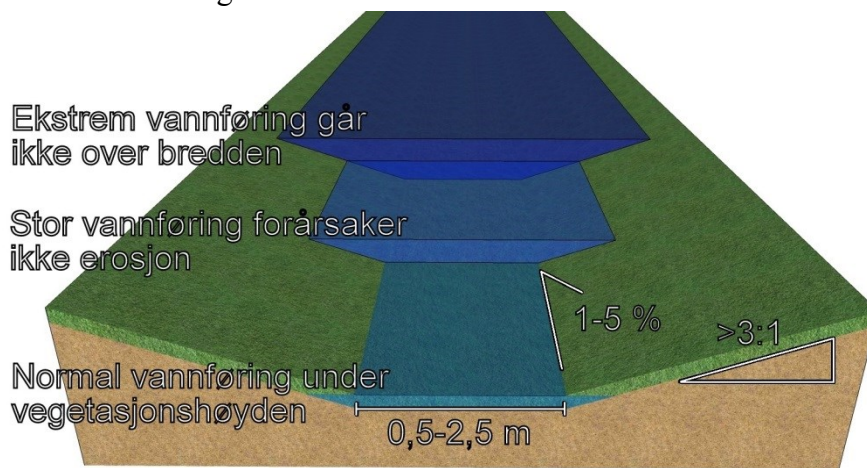
Bruk av gressklede vannveger

Gressklede vannveger brukes til bortledning ved å fange opp avrenningen fra et bestemt område og lede dette til neste ledd i overvannssystemet. Eksempler på dette kan være avrenning fra tak som ledes til et regnbed. Grøfter langs veg kan utformes som gressklede vannveger og lede til fordrøyningsdammer. Gressklede vannveger kan erstatte lukkede rør og sluk langs gater. Mange oppbygde midtrabatter med kantstein har mulighet til å «vrenses», dvs. å bytte ut disse med en gresskledd vannveg. I stedet for at overvann renner tilbake i kjørebanelen og ned i et sluk blir det værende og infiltrerer eller ledes bort. Gressklede vannveger kan ettermonteres hvis det er behov for å oppgradere overvannssystemet. Deler av overvannet infiltrerer på stedet og overskuddet ledes til eksisterende nett. Ved å plassere

terskeldammer og/eller heve utløpet over grøftebunnen kan man øke vannmengden som fordrøyes.

Gresskledd vannveger dimensjoneres for at normale nedbørshendelser passerer under vegetasjonshøyden i lav hastighet og helt eller delvis infiltrerer. Store nedbørshendelser skal ikke gi erosjonsskader. Ekstreme nedbørshendelser skal passere uten at det flommer over. Dimensjonerende gjentakintervall baseres på en risikoanalyse. Dette er beskrevet i Norsk Vann Rapport 162|2008 «Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering».

På Urridaholt, Island, er gresskledd vannveger en viktig del av overvannshåndteringen. Utbyggingen ligger i nedbørsfeltet til Urridavatn og det er en målsetting at vannkvalitet og vannstand ikke skal endres som følge av prosjektet. Gresskledd vannveger samler opp avrenning fra veier og det som ikke lar seg infiltrere lokalt på eiendommene. Deretter ledes overvannet bort fra bebyggelsen. Utløpet er hevet over grøftebunnen slik at en større del av overvannet kan lagres til det infiltrerer.



Figur 87 Dimensjonering av gresskledd vannveg

Begrensninger

Gresskledd vannveger er normalt begrenset til mindre nedbørsfelt (5 ha eller mindre) fordi tiltaket ellers blir veldig omfattende. I bratt terreng blir det også vanskelig å redusere hastigheten tilfredsstillende uten store tiltak. Det er fordelaktig om de stedlige massene er godt drenerbare. Gresskledd vannveger legger beslag på arealer, normalt 5-10% av nedbørsfeltet. Dersom området er veldig tett bebygget kan det være problematisk å finne plass. Man må også vurdere virkningen av infiltrasjon på stabiliteten til fundamenter, landkar og veier.

Utforming

Dersom helningen i avrenningsretningen er større enn 5% må det gjøres tiltak for å redusere hastigheten. Dette innebærer å bygge trappefall eller terskeldammer i vannvegen. Innløpet kan være på enden oppstrøms eller langs siden. Innløp og utløp må utformes slik at det ikke oppstår erosjon. For konsentrerte innløp betyr det gjerne forsterking av bunnen med steinlegging eller betongplate. Sideskråningene bør ikke være brattere enn 3:1 for å hindre

erosjon. For å unngå kanalisering bør ikke grøftebunnen være bredere enn 2,5 meter. For å redusere gjentettingen av grøftebunnen bør det være en forbehandling i forkant av innløpet. Dette kan gjøres med et sedimentasjonskammer bak en oversløpskant eller en terskeldam. Dersom innløpet er langs siden i lengderetning er det tilstrekkelig forbehandling i sideskråningene.



Figur 88 Trappefall reduserer hastigheten i bratte partier. Foto: Tore Leland

Hvis infiltrasjonshastigheten på de stedege massene ikke er tilfredsstillende bør disse skiftes ut med et filtermedium. Dette filtermediumet anbefales å ha en infiltrasjonshastighet på minimum 10 cm/time. Dette består typisk av sand og kan iblandes organisk materiale (kompost) for å forbedre egenskapen til å holde igjen forurensninger. Filterlaget bør være minst 40 cm dypt. For å forbedre infiltrasjonen ytterligere kan det legges inn underdrenering.

Kaldt klima

Om vinteren er gresskledd vannveger et pålitelig transportsystem fordi det består av få kritiske punkter. Fordi det er en åpen overvannsløsning er blokkeringen lett tilgjengelig og smeltevannet blir stående i vannvegen istedenfor i gater og veger der det hindrer fremkommeligheten. Derfor er også tiltaket godt egnet som snølager. Frossen mark infiltrerer

vann så lenge vanninnholdet er lavt før det fryser til. Gresskledde vannveger som skal fungere godt i kaldt klima bør derfor ha god drenering.

Vedlikehold

Vedlikeholdet av gresskledde vannveger er regelmessig klipping og plukking av søppel. Gressdekket må holdes helt og eventuelle erosjonsskader repareres.

Referanser:

- Leland, Tore. (2012). *TVM 4105: Gresskledde forsenkinger i norsk klima*. (Fordypningsprosjekt. Veileder: Sveinn T. Thorolfsson), NTNU, Trondheim.
- Leland, Tore. (2013). *Gresskledde vannveier i norsk klima*. Veileder: Sveinn T. Thorolfsson. (Masteroppgave), NTNU, Trondheim.
- Thorolfsson, Sveinn T. (2008). Stormwater management at Urridavatn in Iceland. *In proceedings of XXV Nordic Hydrological Conference. August 11-13 2008. Reykjavik, Iceland*.
- Urridaholt EHF. (2013). Retrieved 28.05.2013, 2013, from www.urridaholt.is
- Åstebøl, Svein Ole, & Gjerlow, Sverre O. (2006). SUDS-Urridaholt Final Report. COWI.