

1 FORMÅL

Formålet med VA/Miljø-bladet er å gi en veiledning til kommuner og VA-konsulenter over hvordan man raskt kan beregne dimensjonerende avløpsmengder. Det blir vist til relevante norske, svenske, danske og engelske veiledere når det er varierende tall i litteraturen.

2 BEGRENSNINGER

De viste faktorer og metoder kan brukes dersom man ikke har bedre tall og metoder lokalt.

Avløpssituasjonen varierer svært mye fra felt til felt og er avhengig av en lang rekke spesielle forhold. De verdier, faktorer og metoder som angis i dette VA/Miljø-bladet er det som man vanligvis har som en gjennomsnittlig situasjon. Man kan derfor lett komme til å bruke beregningsverdier som ligger langt fra den man faktisk har i det aktuelle lokale feltet.

3 FUNKSJONSKRAV

Dersom man har separat avløpssystem, skal drensvann, snøsmelting og overvann ikke ledes til spillvannsledning, men til overvannsledning. I dette VA/Miljø-bladet er spillvannsavløp fra husholdninger, og annet normalt spillvannsavløp til spillvannsledningen er inkludert, så vel som drensvann og fremmedvann. Videre er noen beregningstekniske forhold vedrørende overvannsavrenning og snøsmelting tatt med. Et beregningseksempel med faktorer fra dette VA/Miljø-bladet er vist til slutt i dokumentet.

4 LØSNINGER

4.1 SPILLVANNSMENGDER

4.1.1 HUSHOLDNINGSAVLØP

Normalt kan man anta at vannforbruket i en husholdning er lik avløpsmengden. De fleste kilder angir et gjennomsnittlig forbruk på 130 – 150 l/ person og døgn (l/p d). Dersom man ikke har egne tall som tilsier noe annet, foreslås det at man bruker 150 l/p d som et gjennomsnittlig tall for et helt år.

4.1.2 AVLØP FRA INSTITUSJONER OG ANNEN VIRKSOMHET

I et tettsted vil det alltid være virksomhet som bruker vann i tillegg til husholdningsforbruket.

I tabell 1 er det vist gjennomsnittlig forbruk for en rekke aktiviteter. Verdiene for forbruket er ofte ganske usikre. Tabell 1 gjengis derfor verdier fra Danmark, Norge, Sverige og England. Det store spriket mellom dem, for visse aktiviteter, viser at verdiene er ganske usikre. I venstre kolonne er vannbruksenheten vist. Dersom et tall har en annen enhet enn dette, er denne enheten skrevet i ruten sammen med tallet. Der det er flere ulike tall å velge mellom for samme aktivitet, bør man vurdere å bruke det norske tallet.

4.1.3 INDUSTRIELT AVLØPSVANN

Avløp fra større industrier har vanligvis ikke

Aktivitet		Norsk Vann 193/2012	Afløbsteknik Dan- mark	P110 Svensk Vatten	Urban drainage
Sykehus uten vaskeri	l/(seng-dag)	625	300-450		
Sykehus med vaskeri	l/(seng-dag)		450-600	700	500-750
Pleiehjem	l/(seng-dag)	450	200-250 [l/p-d]		300-400
Skoler uten svømmehall	l/(elev-dag)	40	20		
Skoler med svømmehall	l/(elev-dag)		40	40	50-100
Kjøpesentre	l/(m ² -dag)		3 til 5		4
Fritidshjem og barnehager	l/(barn-dag)		20-40	50	
Politi- og brannstasjoner, fengsler, etc.	l/(p-dag)		50-120		
Kontorer, forretninger	l/(ansatt-dag)	80	30	60	7,5 [l/m ²]
Restauranter	l/(gjest-dag)	100 [l/stol]	15-25	500 [l/ansatt-d]	30-40
Pub, klubber, ect.	l/(gjest-dag)				10 til 20
Kino, teater, etc.	l/(sete-dag)				10
Hotell 1. klasse	l/(gjest-dag)	500	260-350		
Hotell 2. klasse	l/(gjest-dag)	275	170-260	300	150-300
Hotell 3. klasse	l/(gjest-dag)		130-170		
Jernbanestasjoner, flyplasser, etc.	l/(plass-dag)		10 til 30		
Svømmehaller	l/besøkende	100			
Forsamlingslokaler	l/sitteplass	6			
Campingplasser	l/(p-dag)		40-100		

Tabell 1. Vannforbruk for ulike aktiviteter. Data fra sentrale faglige dokumenter i fire land.

Utarbeidet:	mai 2015	Oddvar Lindholm	Revidert:		
-------------	----------	-----------------	-----------	--	--

avløp til det kommunale avløpsnett. Næringsmiddelindustri er imidlertid et eksempel på mellomstor industri som ofte har avløp til kommunalt avløpsnett. Tabell 2 viser noen tall for gjennomsnittlig avløp per produsert produkt.

Tallene er bare orienterende da det er store variasjoner innen en produksjonsgren på grunn av forskjellige produksjonsmetoder.

Svenskt Vatten 2015 /6/ sier at som en tommelregel kan man bruke som orienterende verdi 1 l/s ha for planlagte nye industriområder. Urban Drainage /1/ angir som orienterende avløp for konvensjonelle industriområder 2 l/s ha for lette områder, 4 l/s ha for midlere områder og 8 l/s ha for tyngre industriområder. For nyere industriområder med vannbesparende tiltak angis 0,5 l/s ha for lette industriområder, 1,5 for middels og 2 l/s ha for tyngre industriområder.

Aktivitet	Afløbsteknikk Danmark	Twort m.fl. 2000	Norsk Vann 193/2012
Meierier m ³ /tonn råmelk	0,5	3	0,5-2
Slakterier m ³ /tonn produkt	0,7	5	0,7-11
Griseproduksjon Landbruk m ³ /tonn slakt	40-75		40-75
Bryggerier og brusfabrikk m ³ /tonn produkt	2 til 5	7	2 til 5
Garverier m ³ /tonn råvare	14-60		14-60
Galvanisering m ³ /m ² overflate	0,01-0,14		0,01-0,14
Tekstilindustri m ³ /tonn råvare	70-175		70-175
Bakerier m ³ /tonn produkt		2	
Konservesfabrikker m ³ /tonn produkt		30-35	
Plastikkfabrikker m ³ /tonn produkt		9 til 23	
Farverier m ³ /tonn tøy		83	
Fiskeprodukter med pakking m ³ /tonn produkt		8,5	
Vaskerier m ³ /tonn vask		20	

Tabell 2. Vannforbruk i en del industrier.

4.1.4 DØGNVARIASJONER OG TIMEVARIASJONER

Maks. døgnfaktor f_{maks} = avløp i det maksimale av årets døgn/avløp i det midlere døgn.

Min. døgnfaktor f_{min} = avløp i det minimale av årets døgn/avløp i det midlere døgn.

Maks. timefaktor k_{maks} = avløp i den maksimale av døgnetts timer/avløp i den midlere time.

Min. timefaktor k_{min} = avløp i den minimale av døgnetts timer/avløp i den midlere time.

I små tettsteder og små avløpsfelt vil variasjonene være større enn i store tettsteder og områder. Variasjonsfaktorene nærmer seg i retning mot 1 for økende størrelse på avløpsområdet. Dette gjelder både timevariasjonsfaktorene k_{maks} og k_{min} og døgnvariasjonene f_{maks} og f_{min} .

Tabell 3 viser noen verdier man finner i relevant litteratur.

Område	f_{maks}	f_{min}	k_{maks}
Byer med mer enn 10.000 pe	1,3-1,8	0,5-0,9	
Tettsted med mer enn 3.000 pe	1,3-2,1	0,6-0,8	1,4-2,7
Tettsted med 1.100-3.000 pe	1,5-2,3	0,5-0,6	1,7-3,0
Fritidsområder, campingplasser etc.	2,0-4,0		2,0-4,0

Tabell 3. Maks døgnfaktor, min døgnfaktor og maks timefaktor (Winther m.fl 2011 /8/ & Svenskt Vatten 2015 /6/).

Figur 1 viser maksimalt avløp i liter per sekund i årets mest intense time. Figuren gjelder for 100 til 1.000 personenheter. (Svenskt Vatten 2015) /6/.

Figur 2 viser en maks faktor M for avløp som funksjon av størrelse på tettstedet.

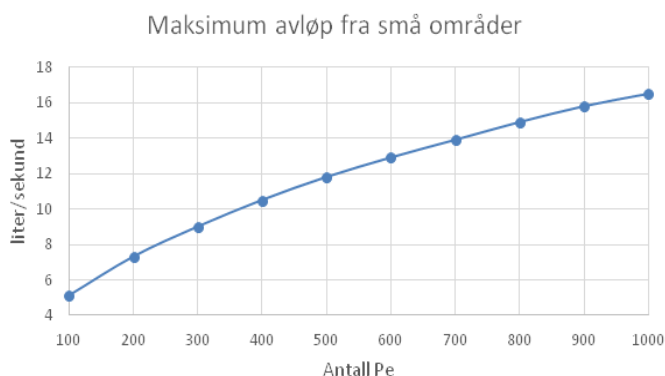
Maks faktor M er definert som $f_{maks} \cdot k_{maks}$ (Butler & Davies 2010) /1/.

Ved å multiplisere midlere spillvannsavløp over året med M, får man avløpet i den mest intense timen i året.

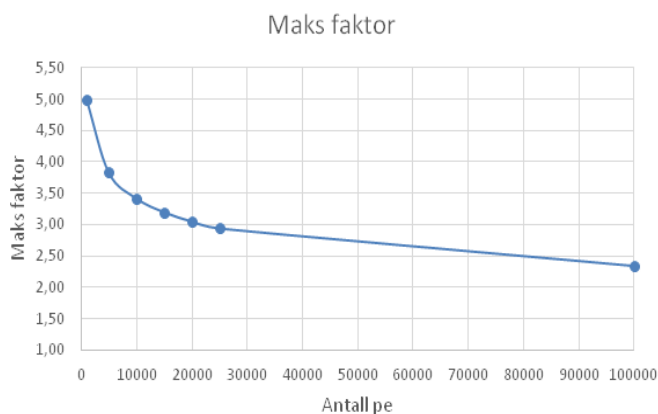
Formelen for maksfaktor M for kurven i figur 2 er:

$$M = 5 / P^{0,166}$$

P = antall personenheter/1.000 i området oppstrøms der man befinner seg.

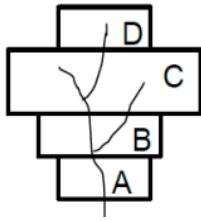


Figur 1. Maksimal avløpsmengde fra små områder (Svenskt Vatten 2015) /6/.



Figur 2. Maks faktor ($f_{maks} \cdot k_{maks}$) som funksjon av områdets antall pe (Butler & Davies 2010) /1/.

Områder med få innbyggere har dermed høyere maksimale døgn- og timefaktorer enn områder med mange innbyggere. Man må imidlertid ikke bruke samme faktorer for en hel by eller for et større område. Faktorenes størrelse vil avhenge av hvor man er i avløpsnett. Høyt opp i nettet vil variasjonene være store og lenger ned i nettet vil variasjonene være mindre. I figur 3 betyr det at hvis man er i felt D vil f.eks. f_{maks} være høyere enn hvis man er i felt A som er nederst i avløpsfeltet.



Figur 3. Prinsippskisse av ulike områder i et avløpsfelt.

4.2 INFILTRASJON OG INNLEKKINGSVANN - FREMMEDVANN

Infiltrasjonen og innlekkingen til spillvannsførende ledninger kan være større enn den egentlige spillvannsmengden. Dette kalles ofte fremmedvann og er et stort problem i de fleste tettsteder. Fremmedvannmengden varierer svært mye fra sted til sted og varierer også mye over året.

Følgende råd er gitt i Norsk Vanns veileder (Lindholm m.fl. 2012) /4/:

«For nye ledninger bør man ikke forutsette lavere infiltrasjonsvannmengde enn 0,2 l/s pr. km ledning dersom man ikke har målinger som viser at infiltrasjonen er mindre. Normalt tilsvarer denne infiltrasjonen ca. 100 l/p.d. Ved eldre ledningsnett varierer infiltrasjonsvannmengdene mye. Det er ikke uvanlig at den kan komme opp i 1,0 l/s pr. km ledningslengde eller tilsvarende ca. 500 l/p.d. Dersom det ikke foreligger målinger, bør det ikke velges verdier under 0,4 l/s pr. km. ledningslengde. Normalt tilsvarer dette ca. 200 - 300 l/p.d, avhengig av urbaniseringsgrad. På grunn av de store vanskelighetene med å beregne infiltrasjonsvannmengde, anbefales det at målinger utføres. Bruk av kontinuerlige målere for måling av vannføring i avløpsrør er mest hensiktsmessig. Når infiltrasjonen bare måles noen få ganger, er det viktig å være klar over at infiltrasjonen kan variere mye over året. Nedbøravhengig innlekking er ikke mulig å beregne. Det må derfor gjøres observasjoner av vannføring i spillvannsledningen i samband med nedbør. Den nedbøravhengige innlekkingen kan være meget stor, i størrelsesorden 3-30 ganger spillvannsavrenningen.»

Oslo kommune har mye fremmedvann; i gjennomsnitt ca. 1,5 l/s km hovedavløpsledning (Olsen 2014) /5/.

Svenskt Vattens /6/ P110 sier følgende om fremmedvann til spillvannsledninger:

«Inläckaget vid torrväder kan normalt sättas till Qläck = 0,05-0,15 l/s-ha. Inläckaget i samband med regn kan bli avsevärt större, och varierar kraftigt mellan olika områden. Inom problemområden uppmäts värden på upp till ca 1 l/s-ha. Vid dimensionering kan man räkna med Qläckregn = 0,2-0,7 l/s-ha. En felaktigt ansluten takyta på 100 m² medför ett momentant flöde på ca 1,5 l/s för ett regn med 2 års återkomsttid.»

4.3 DRENSVANNSMENGDER

Drensvann er grunnvann som man ønsker å lede bort. Dette skjer normalt via egne drensledninger. Imidlertid leder ofte drensledningene sitt drensvann til kommunale avløpsledninger. Drensvann skal ikke ledes til spillvannsledningen dersom man har et separatsystem, men til overvannsledningen. Dersom man har fellessystem, må ofte drensvannet ledes til fellesavløpsledningen.

Winther m.fl. (2011) /8/ angir at man kan regne med en middeltilstrømning på 0,02-0,06 l/s ha som dreneres. Tilstrømningen av drensvann vil variere mye over året og med nedbørsituasjonen.

Den vil være stor rett etter et kraftig og langvarig regn og man bør da regne med en maksimal avrenning som er minst 2 – 4 ganger større enn middelet. Markdrensledninger er ofte dimensjonert for 0,5-1,0 l/s ha.

Jordtype	Uten kjellere		Med kjellere	
	Maksimum	Middel	Maksimum	Middel
Leire, silt	0,03	0,01	0,09	0,03
Morene, finsand	0,3	0,1	0,9	0,3
Friksjonsmateriale	1	0	3	0

Tabell 4. Orienterende drensvannsmengder fra husdreneringer i l/s ha (Svenskt Vatten 2015) /6/.

4.4 AVRENNING FRA SNØSMELTING

I tabell 5 er det angitt snøsmelteintensiteter for noen norske byer. Snøsmeltingen er angitt både som l/s ha og som mm per 12 timer. Det er angitt maksimale verdier for en snøsmelting som kan forventes en gang i løpet av 2 år, 5 år og 10 år.

4.5 OVERVANN FRA URBANE OMRÅDER

Avstrømning av overflatevann (Q) fra en arealenhet, som følge av nedbør, kan prinsipielt beregnes på to måter.

A. Hydrologisk metode

Q = Nedbør – oppfuktning – groptap – infiltrasjon til grunnen

Oppfuktning er det vannvolumet som trengs for å fukte opp overflatene.

Groptap er det vannvolumet som holdes tilbake på overflaten fordi noe vann går med til å fylle opp alle pytter, groper, sprekker etc.

Flate	Fukttap	Gropmagasin
Flate tak	2,0	0
Skråtak	0,3	0
Veier	0,5	1,8
Fortau	0,7	1,8
Gress	2	3

Tabell 6. Fukttap (mm) på overflater og gropmagasin (IPS 2008) /3/.

Sted	z = 2 år		z = 5 år		z = 10 år	
	mm/12h	l/s ha	mm/12h	l/s ha	mm/12h	l/s ha
Kristiansand	19	4,4	27	6,2	33	7,6
Sandnes	20	4,6	25	5,8	30	6,9
Bergen	18	4,2	24	5,5	28	6,5
Oslo	19	4,4	27	6,2	32	7,4
Trondheim	19	4,4	39	9,0	33	7,6
Mosjøen	20	4,6	30	6,9	35	8,1
Narvik	22	5,1	32	7,4	35	8,1
Trømsø	20	4,6	30	6,9	38	8,8
Gjennomsnitt	19,6	4,5	28,1	6,5	33,0	7,6

Tabell 5. Snøsmelteintensiteter for noen norske byer (Bøyum m.fl. 1997) /2/.

Butler & Davies (2010) /1/ angir følgende verdier for grop-magasinerings:

Tette flater: 0,5 – 2 mm

Flate tak: 2,5 – 7,5 mm

Hager: ca. 10 mm

I dataprogrammet MIKE URBAN/MOUSE brukes 1,6 mm som en vanlig standardverdi for tette flater.

Dataprogrammet SWMM foreslår 1,2 til 2,4 mm for tette flater og 2,5 til 5 mm for gressplener.

Først når nedbøren har fuktet opp overflatene, fylt opp alle pytter og groper og når ytterligere nedbør overstiger infiltrasjonen, kan avrenning i form av overvann skje.

Infiltrasjonsberegningene kan gjøres med f.eks. Hortons infiltrasjonsligning:

$$f(t) = f_e + (f_0 - f_e) \cdot e^{-kt}$$

$f(t)$ = infiltrasjonskapasitet ved tiden t (mm/time)

k = konstant som bestemmer hvor raskt infiltrasjonen avtar (h^{-1}). (I SWMM er denne satt til 4 som defaultverdi, men vil kunne variere mellom 2 og 7).

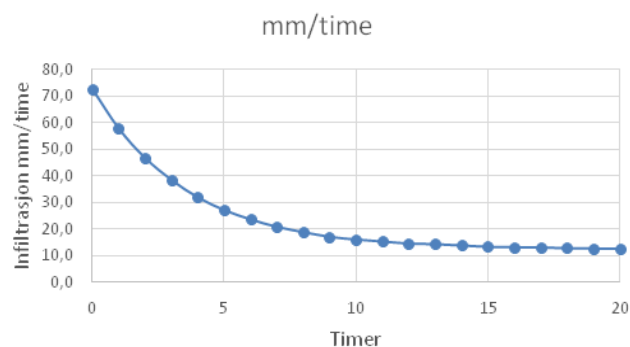
f_e = Infiltrasjonskapasiteten ved slutt (mm/time)

f_0 = Infiltrasjonskapasiteten ved start (mm/time)

Jordart	f_0	f_e
Sandjord	125	25
Leirjord med organisk stoff	75	4
Leiraktig jord	25	1

Tabell 7. Orienterende verdier for f_0 og f_e (mm/time)

Det anbefales å gå inn i spesiallitteratur når man skal ha en best mulig analyse av infiltrasjonsforløpet og at man velger parametere i Hortons ligning ut fra det.



Figur 4. Eksempel på et infiltrasjonsforløp etter Hortons ligning. $f_0 = 72$ og $f_e = 12,8$ mm/time.

B. Bruk av rasjonell metode

$$Q = \phi \cdot A \cdot I$$

Q = Avrent vannføring fra feltet i liter pr. sekund (l/s).

ϕ = Forholdet mellom avrent nedbør på overflaten og nedbørmengde.

A = Området innenfor vannskillene for feltet (ha).

I = Nedbørintensitet (l/s ha).

Den rasjonale formel egner seg best ved grove overslagsberegninger og for mindre områder, men grunnprinsippet brukes likevel i enkelte versjoner av datamodeller. Ved dimensjoneringen ønsker man ofte å finne maksimal overvannsføring. Da må man velge et regnskyll fra regnintensitetskurvene som har varigheten lik konsentrasjonstiden for nedbørsfeltet.

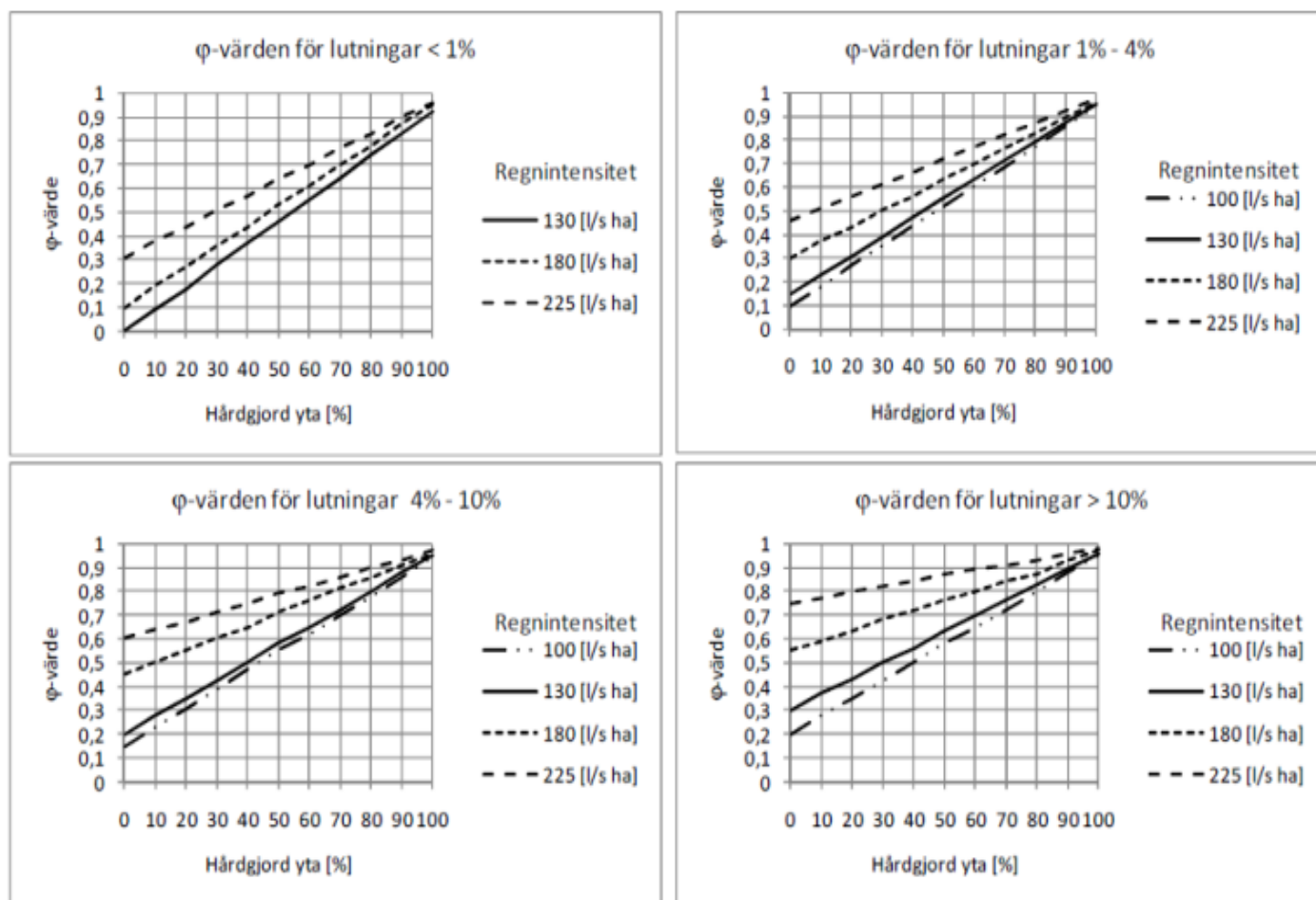
Noen orienterende forslag til avrenningskoeffisienter (ϕ) er vist i tabell 8.

De lavere verdiene brukes for flattere områder og de høyere for brattere områder.

Figur 5 er fra de tyske fagnormene ATV og man ser her at ϕ er sterkt avhengig av bl.a. % tette flater, regnintensitet og fall i feltet.

Type område	Afløbsteknik Denmark	P110 Svensk Vatten	Urban drainage	Norsk Vann 193/2012
Sentrumsområder			0,7-0,95	
Kontorområder, forretningstrøk			0,5-0,7	
Industri			0,5-0,9	
Tett bebyggelse og inten vegetasjon		0,7-0,9		
Tett bebyggelse med noe vegetasjon		0,5-0,7		
Flerfamiliehus med åpne områder mellom husene		0,4-0,6		
Rekkehus og kjedehus		0,4-0,6		
Eneboliger med tomter < 1.000 m ²		0,35-0,45		
Eneboliger med tomter > 1.000 m ²		0,2-0,3		
Takflater	0,9-1,0	0,9	0,75-0,95	0,8-0,9
Asfalterte gater og betongflater	0,8-1,0	0,8	0,7-0,95	0,7-0,8
Grusveger	0,4-0,5	0,4		0,4-0,6
Plener, parker	0,1	0,1	0,05-0,35	0,05-0,1

Tabell 8. Orienterende avrenningskoeffisienter fra noen aktuelle kilder.



Figur 5. Maksimale avrenningskoeffisienter som funksjon av % tette flater, regnintensitet og ulike helninger på overflaten, ved regnvarighet 15 min (Svenskt Vatten 2015) /6/. Fra ATV-118, 1999.

En mer utfyllende veiledning i beregning av overvannsavrenning er for omfattende til å tas med i dette VA/Miljø-bladet, så det vises til Norsk Vanns veileder 193/2012 /4/ eller til lærebøker på feltet.

4.6 BEREGNINGSEKSEMPEL

Et avløpsområde har 2.000 innbyggere og 20 km med eksisterende kommunale spillvannsledninger av minst middels god kvalitet. I feltet ligger også et lite lokalt meieri som behandler 6.400 liter råmelk/dag i løpet av 8 timer per arbeidsdag, og et sykehjem med 50 sengeplasser. Hva er maksimal avløpsvannføring?

Løsningsforslag:

Vannforbruk per person settes til 150 l/p · døgn.

Sykehjem: Det antas at en vannmengde på 450 l/ sengeplass · dag bør brukes (se tabell 1).

Meieri: Man velger å bruke 1 m³ vann per tonn råmelk (se tabell 2).

Fremmedvann: I henhold til punkt 4.2 velges det en fremmedvannmengde på 0,4 l/s · km ledning.

Variasjonsfaktorer: For personenheter, inkl sykehjemmets personekvivalenter (som er 450 / 150 · 50 = 150 pe), velges $f_{maks} = 2,0$ og $k_{maks} = 2,5$ (se tabell 3).

Maksimalt avløp blir da:

$$(2.150 \cdot 150 \cdot 2,0 \cdot 2,5 + 6.400 \cdot (24 / 8)) / (24 \cdot 60 \cdot 60) + 0,4 \cdot 20$$

$$= 18,7 \text{ l/s (personer + sykehjem)} + 0,2 \text{ l/s (meieri)} + 8 \text{ l/s (fremmedvann)} = 26,9 \text{ l/s}$$

Henvisninger:		Utarbeidet:	mai 2015	Oddvar Lindholm
/1/	Butler & Davies. 2010. "Urban Drainage." CRC Press.	Revidert:		
/2/	Bøyum, Å., Eidsmo, T., Lindholm, O., Nordeide, T., Semb, T., Skretteberg, R. og Markhus, E. 1997. "Anvendt urbanhydrologi." Publikasjon nr. 10 -1997 NVE.	/6/		Svenskt Vatten. 2015. "Avledning av spill-, drän- och dagvatten." P110. Stockholm.
/3/	IPS. (2008). «STORM Manual» Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH. Berlin.	/7/		Twort, A. C., Ratnayaka, D. D. and Brandt, M. J. 2000. "Water Supply" 5th edition. Arnold. London.
/4/	Lindholm, O., Endresen, S., Smith, B. T. og Thorolfsson, S. 2012. "Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportssystem." Norsk Vannrapport nr. 193, 2012.	/8/		Winther, L., Linde, J. J., Jensen, H. T., Lund Mathiasen, L. og Johansen, N.B. 2011. "Afløbsteknikk 6. utgave." Polyteknisk Forlag. København.
/5/	Olsen, M. 2014. «Hvordan fungerer ledningssystemene? Fremmedvann i Oslo». Innlegg på VA- dagene på Vestlandet 10. september 2014.			