

Oppdragsnr.	Oppdragsnavn:	
14325	Flomvurdering Ladebekken	
Notat nr.:	Notatdato:	Utarbeidet av:
01	09.02.2024	Åsta Gurandsrud Hestad
Dokument nr.	Revisjon:	Godkjent av:
14325-OO-RIX-N-001	01	Lars Marius Mikalsen
Sak:		

Flomvurdering for Ladebekken ved Fridheimkvartalet

SAMMENDRAG

Dr.techn. Olav Olsen AS er engasjert av Fridheimkvartalet AS for å vurdere flomfare i forbindelse med at det planlegges nye boliger ved Ladebekken på Lilleby i Trondheim (Trondheim kommune).

Trondheim kommunes aktsomhetskart over klimarelatert risiko viser at Ladebekken vil fungere som flomvei ved ekstreme nedbørhendelser. Det er gjort en forenklet beregning for å finne et estimat på forventet vanddybde ved en 200-års flomhendelse. Det er benyttet et klimapåslag på 40 % på nedbørverdier.

Basert på resultat fra beregningene anbefales det å benytte en vanddybde på 0,2 m i videre planlegging.

INNHOLDSFORTEGNELSE

1	Innledning.....	- 2 -
2	Flomberegning.....	- 6 -
2	Beregning av vannstand.....	- 12 -
3	konklusjon.....	- 14 -
	Referanser.....	- 16 -

1 INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

Dr.techn. Olav Olsen AS er engasjert av Fridheimkvartalet AS for å vurdere flomfare i forbindelse med at det planlegges nye boliger ved Ladebekken på Lilleby i Trondheim (Trondheim kommune).

Trondheim kommunes aktsomhetskart over klimarelatert risiko viser at Ladebekken vil fungere som flomvei ved ekstreme nedbørhendelser. For å kunne ta hensyn til flomfaren, er det ønskelig å finne et estimat på forventet vanndybde ved flom.

Vurdering og beregninger er utført av Åsta Gurandsrud Hestad, og kontrollert av Lars Marius Mikalsen.

1.2 Geografisk beliggenhet

De nye boligene er planlagt på Lilleby, ca. 2,5 km (luftlinje) nordøst for Trondheim sentrum. Regional plassering av prosjektområdet er vist i figur 1-1.



> *Figur 1-1 Regional plassering av prosjektområdet*

1.3 Prosjektområdet

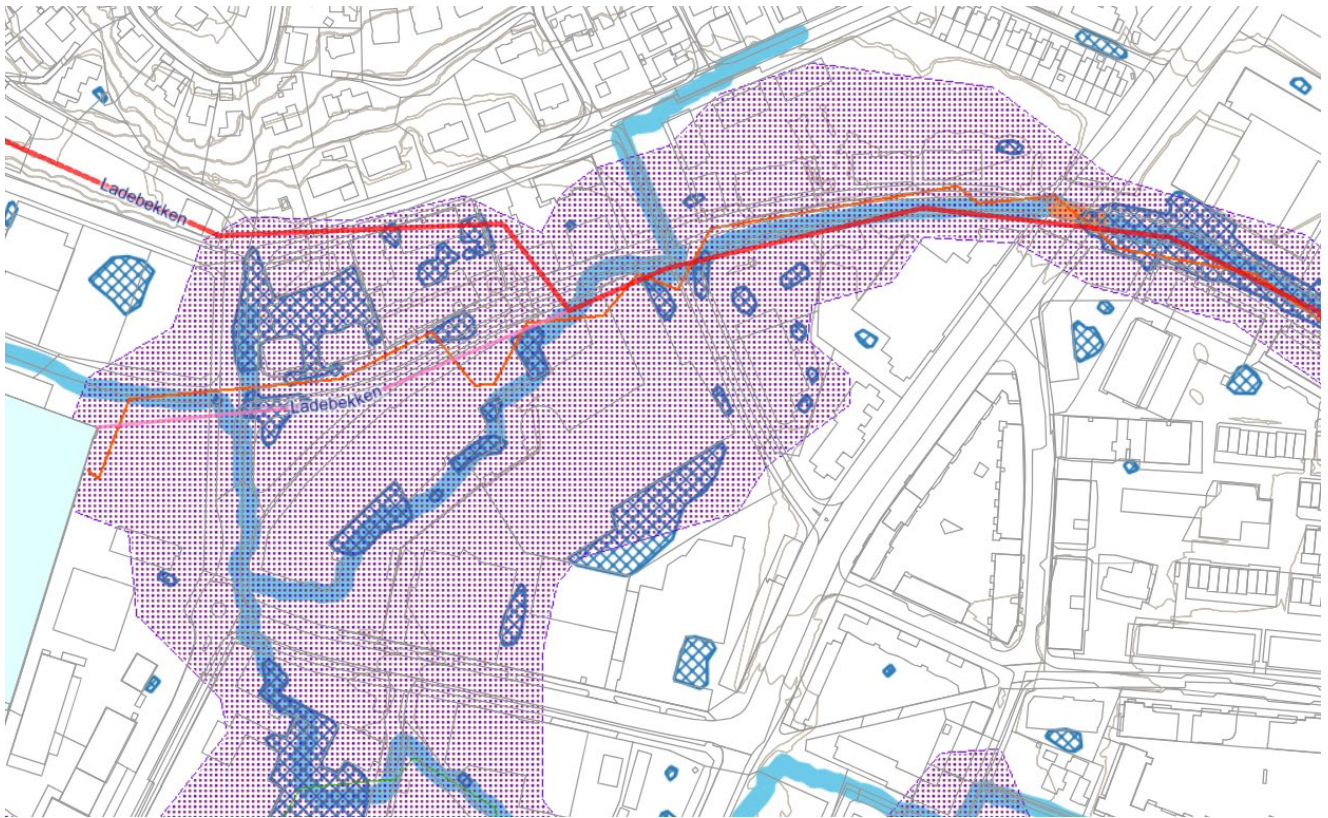
Prosjektområdet er vist i figur 1-2.



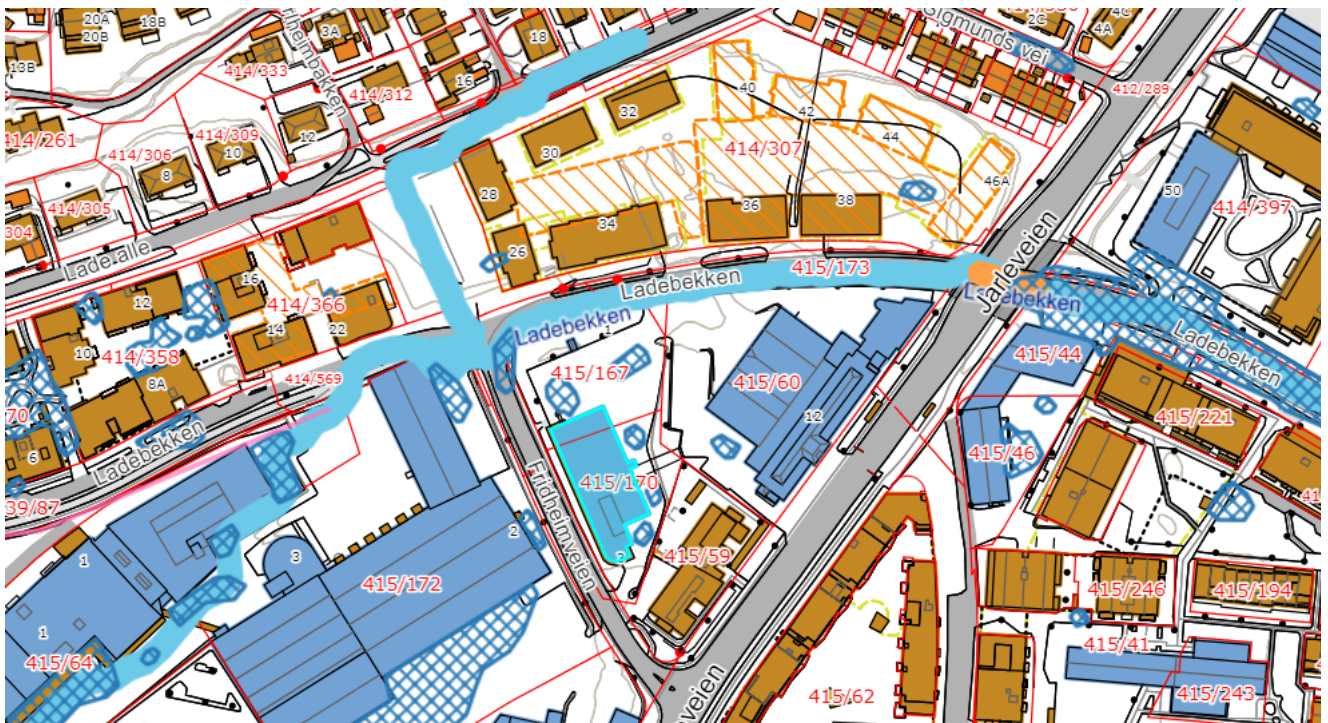
> *Figur 1-2 Prosjektområdet – utsnitt fra landskapsplan tegnet av Agraff Arkitekter*

Trondheim kommunes aktsomhetskart over klimarelatert risiko viser at Ladebekken vil fungere som flomvei ved ekstreme nedbørhendelser, se figur 1-3 og figur 1-4.

Flomveien er knyttet til det tidligere bekkeløpet til Ladebekken som nå er lukket (vist med rødt i figur 1-3).



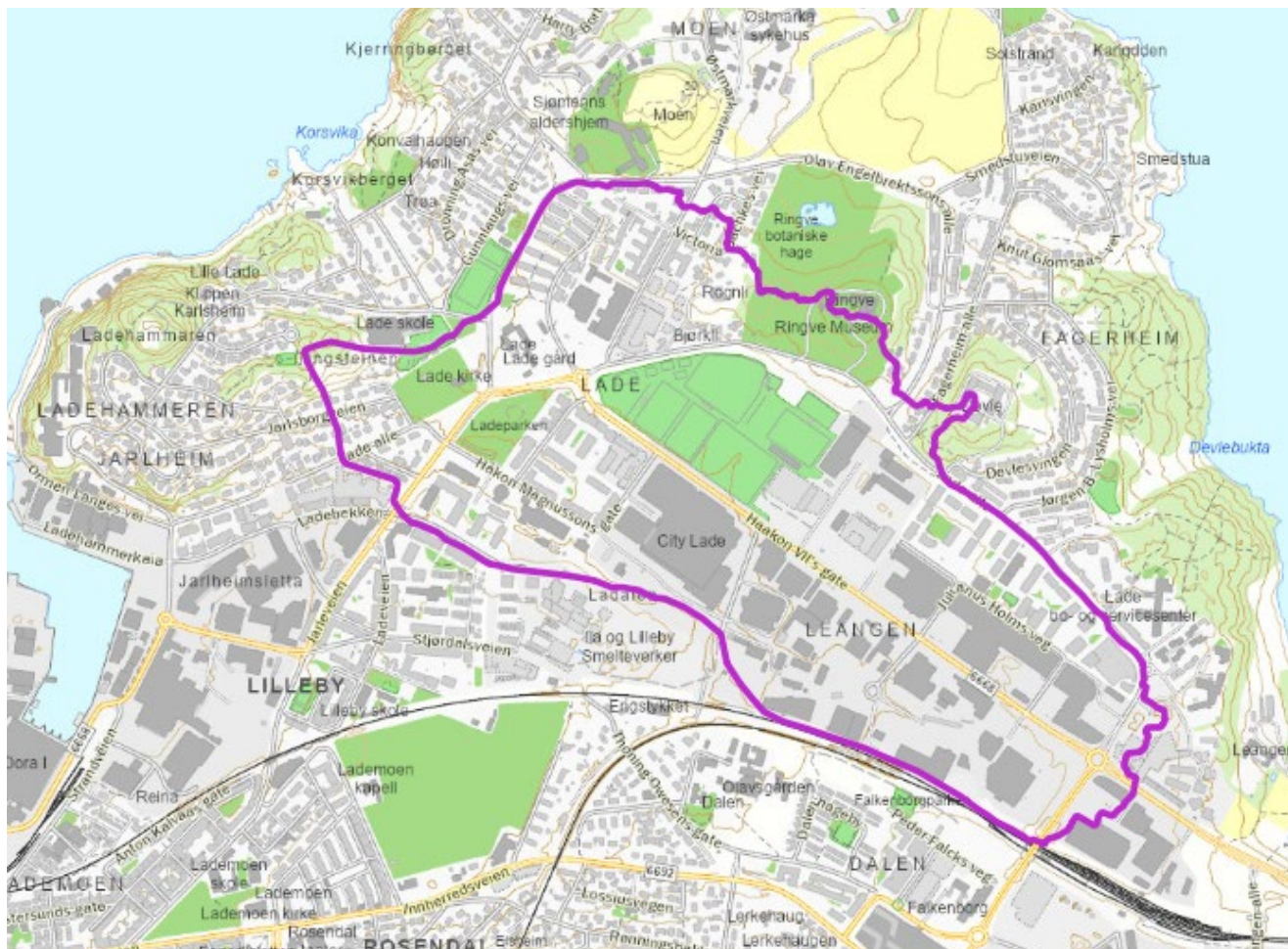
> *Figur 1-3 Kartlagte flomveier (blå linjer) og aktsomhetssoner (lilla skravor) ved prosjektområdet [1]*



> *Figur 1-4 Flomvei i Ladebekken forbi Fridheimkvartalet [1]*

1.4 Flomvei og nedbørfelt

Nedbørfeltet til flomveien er beregnet med overflatemodellen Scalgo og QGIS. Det er gjort en kontroll av nedbørfelt og feltgrenser mot kart over flomveier og dreneringslinjer fra Trondheim kommune [1].



> *Figur 1-5 Nedbørfelt til flomveien*

2 FLOMBEREGNING

2.1 Dimensjonerende gjentakintervall (returperiode)

Det planlagte boligprosjektet er plassert i sikkerhetsklasse F2 i byggeteknisk forskrift (Tek 17) [2]. Sikkerhetsklasser for flom er vist i tabell 2-1. I henhold til krav i Tek 17, skal området være sikkert mot 200-årsflom fra hav, vassdrag og overvann.

> *Tabell 2-1 Sikkerhetsklasser for flom [2]*

<i>Sikkerhetsklasse for flom</i>	<i>Konsekvens</i>	<i>Største nominelle årlige sannsynlighet</i>
F1	liten	1/20
F2	middels	1/200
F3	stor	1/1000

2.2 Beregningsmetode

Vannmengder ved dimensjonerende gjentakintervall er beregnet med den rasjonelle metode. Denne formelen benyttes ofte for beregning av avrenning fra urbane felt [3].

Den rasjonelle metoden beregner vannføring, Q_T , for en gitt returperiode T , etter følgende formel [4]:

$$Q_T = C_T * i_T * A_F$$

Q_T = Vannføring med returperiode T [l/s]

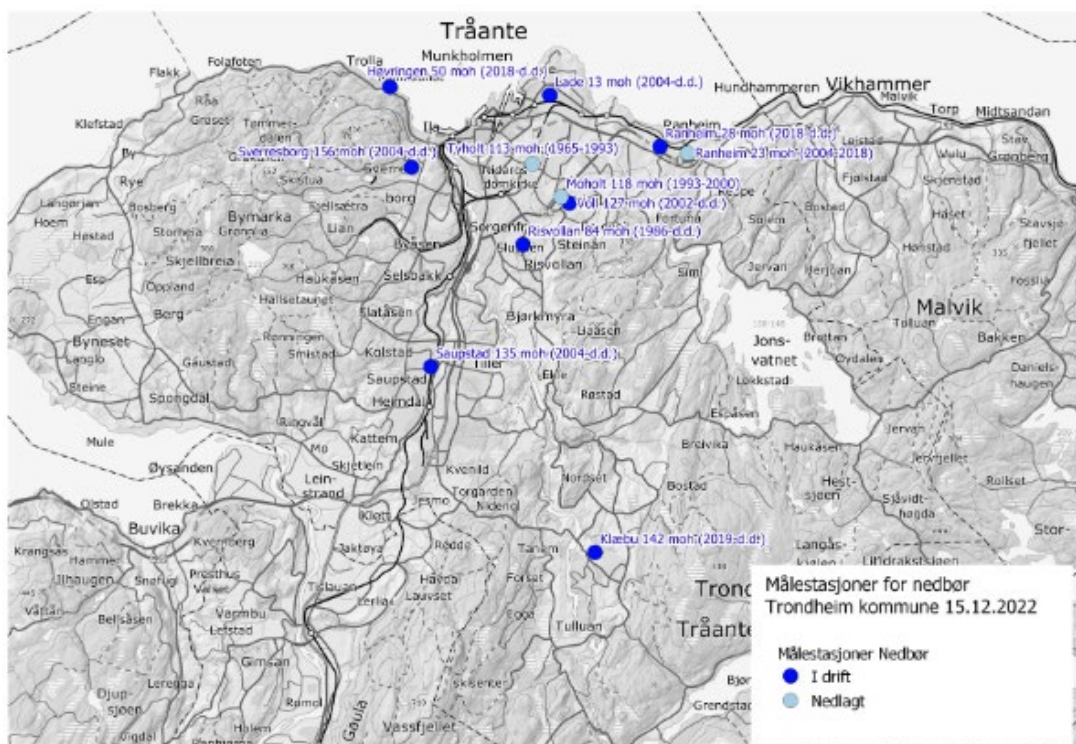
C_T = Avrenningsfaktor ved flom med returperiode T [-]

i_T = Nedbørintensitet med returperiode T [l/s ha]

A_F = Feltareal [ha]

2.2.1 Nedbørdata

Trondheim kommune har 8 målestasjoner for korttidsnedbør. Plassering av stasjonene er vist i figur 2-1. For dimensjoneringsformål skal det benyttes en IVF-kurve basert på et gjennomsnitt av de 6 stasjonene med tilstrekkelige lange måleserier: Voll (2002-2018); Risvollan (1987-2018); Lade (2004-2018); Ranheim (2004-2018); Saupstad (2004-2018) og Sverresborg (2004-2018) [5]. IVF-kurven kan lastes ned fra Trondheim kommune sine nettsider [5], og er vist i tabell 2-2.



> Figur 2-1 Målestasjoner for nedbør – Trondheim kommune [5]

> Tabell 2-2 IVF-kurver for Trondheim kommune

Nedbør (l/s*ha)	Varighet regn (min)																
	1	2	3	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440	
Retur periode																	
2 år	172	144	128	106	75	59	49	38	30	25	20	17	14	10	7	5	
5 år	250	213	189	157	110	87	72	54	41	34	26	22	18	13	9	6	
10 år	311	264	236	196	136	108	88	66	50	41	31	26	21	15	10	7	
20 år	369	318	285	234	162	128	105	79	59	48	36	30	24	17	12	8	
25 år	386	336	304	248	171	135	110	83	62	50	37	31	25	18	12	8	
50 år	447	392	358	292	199	158	129	97	73	58	43	36	28	20	13	9	
100 år	514	454	417	338	230	181	148	112	84	66	48	40	31	23	15	10	
200 år	581	522	481	389	263	207	170	129	96	76	55	45	35	25	17	11	

2.2.2 Avrenningsfaktor

Avrenningsfaktoren varierer med ulike areal typer. Avrenningsfaktorer som er benyttet er basert på verdier vist i tabell 2-3. Sammensetning av areal typer er estimert med Scalgo Live.

> *Tabell 2-3 Avrenningsfaktorer for ulike overflater [4]*

Overflate	Helning		
	< 2 %	2 – 10 %	> 10 %
Veg			
Asfaltert/brolagt vegoverflate (impermeabel)	0,90	0,90	0,90
Gruslagt vegoverflate (impermeabel)	0,85	0,85	0,85
Skulder - kompakterte løsmasser	0,50	0,50	0,50
Skulder - gress	0,25	0,25	0,25
Sideterreng/median – kompakterte løsmasser	0,60	0,60	0,60
Sideterreng/median – gress	0,30	0,30	0,30
Arealbruk - generell			
Lite tettbygd boligområde (< 750 boliger/km ²)	0,35	0,40	0,45
Moderat tettbygd boligområde (750 – 1500 boliger/km ²)	0,50	0,55	0,60
Svært tettbygd boligområde (> 1500 boliger/km ²)	0,70	0,75	0,80
Næringsområder i tettbygd strøk	0,80	0,85	0,85
Lite tettbygd industriområde	0,50	0,70	0,80
Svært tettbygd industriområde	0,60	0,80	0,90
Skogsområder	0,10	0,15	0,20
Åpne naturområder og dyrket mark	0,25	0,30	0,35
Arealbruk - detaljert			
Takoverflater (tett)	0,90	0,90	0,90
Gressplen og parkområder	0,17	0,22	0,35
Dyrket mark (leirig og siltig grunn)	0,50	0,55	0,60
Dyrket mark (sandig og grusig grunn)	0,25	0,30	0,35

For returperioder over 10 år, benyttes en korreksjonsfaktor for å ta hensyn til at større og mer sjeldne flomme inntreffer når det er ugunstige forhold i nedbørfeltet [4]:

$$C_T = C_m \times F_c$$

C_T = Dimensjonerende avrenningsfaktor for returperiode T [-]

C_m = Midlere avrenningsfaktor for nedbørfeltet [-]

F_c = Korreksjonsfaktor for returperiode T [-]

Anbefalt korreksjonsfaktor for hver returperiode er vist i tabell 2-4. C_T settes maksimalt lik 0,95 [4].

> *Tabell 2-4 Korreksjonsfaktor for avrenningsfaktor [4]*

Returperiode T [år]	Korreksjonsfaktor F_c
<10	1,00
10 – 25	1,10
25 – 50	1,20
50 – 100	1,25
100 – 200	1,30

Beregnet avrenningsfaktor for nedbørfeltet til flomveien er vist i tabell 2-5.

> *Tabell 2-5 Beregning av avrenningsfaktor, C (ikke korrigert for returperiode)*

Arealtype	%	C
Tette flater (urbane områder, veier ol.)	60 %	0.7
Naturlige flater (busker gressletter, skog)	40, %	0,22
Sum	100 %	-
Vektet snitt (benyttet i videre beregning)		0.51

2.2.3 Konsentrasjonstid og nedbørintensitet

Nedbørfeltets konsentrasjonstid er tiden det tar for vannet å bevege seg fra det fjerneste punktet i feltet til utløpet [4], og benyttes for å velge riktig nedbørintensitet. Konsentrasjonstid kan beregnes etter ulike metoder, avhengig av feltegenskaper [4]. Nedbørfeltet til flomveien ligger i et område som er dominert av veier, bebyggelse og næringsområder, men det er også noen grøntområder, se figur 2-2. Det er derfor valgt å beregne feltets konsentrasjonstid ved benytte vektet snitt fra formel for urbane felt [4] og formel for naturlige felt [4]. Det er antatt en fordeling på 40 % naturlig felt, og 60 % urbant felt. Beregnet konsentrasjonstid er vist i tabell 2-6.



> *Figur 2-2 Sammensetning av nedbørfelt*

Konsentrasjonstid i urbane felt beregnes med følgende formel, ref. [4]:

$$t_k = 0,02 \times L_F^{1,15} \times \Delta h^{-0,39}$$

t_k = Konsentrasjonstid [minutt]
 L_F = Feltlengden [m]
 Δh = Høydeforskjellen i feltet [m]

Konsentrasjonstid i naturlige felt beregnes med følgende formel, ref. [4]:

$$t_k = 0.6 \times L_F \times \Delta h^{-0.5} + 3000 \times A_{SE}$$

t_k = Konsentrasjontiden [minutt]
 L_F = Feltlengde [m]
 Δh = Høydeforskjellen i feltet [m]
 A_{SE} = Effektiv sjøprosent [-]

> *Tabell 2-6 Beregning av konsentrasjonstid*

Parameter	Formel for urbane felt	Formel for naturlige felt
Feltlengde (m)	1700	1700
Høydeforskjell (m)	40	40
Effektiv sjøprosent	0	0
Konsentrasjonstid (min)	25	161
Konsentrasjonstid, vektet snitt (min)	79	
Konsentrasjonstid, benyttet (min)	60	

2.3 Resultater

Flomverdier beregnet med den rasjonelle metode (kulminasjonsverdier) er vist i Tabell 2-7.

> *Tabell 2-7 Flomverdier beregnet med den rasjonelle metode (kulminasjonsverdier, uten klimafaktor)*

Returperiode (år)	200
Gjennomsnittlig C-faktor	0.51
Korreksjonsfaktor, returperiode	1.3
Korrigert C-faktor	0.66
Nedbørintensitet (l/s/ha)	76
Vannføring, q (l/s/km ²)	5019
Vannføring, Q (m ³ /s)	5,0

2.4 Vurdering av beregnet flomstørrelse

Beregnet flomstørrelse er vurdert mot erfaringstall. I veileder for flomberegninger i små felt [3], er det gitt erfaringstall for spesifikke flomverdier for 200-årsflom for de ulike landsdelene i Norge basert på analyse av data fra målestasjoner. Spesifikke kulminasjonsverdier (timesverdier) for en 200-årsflom i Trøndelag og Møre og Romsdal, varierer stort sett fra 800 – 3000 l/s·km². De høyeste verdiene finner en i Møre og Romsdal, og for felt med lav selvreguleringsevne. Flomverdier beregnet med den rasjonelle metode ligger litt høyere enn erfaringstallene, noe som kan skyldes at for veldig små og raske felt, kan kulminasjonsverdien være en del høyere enn timesverdien [3]. Det er få stasjoner fra Trøndelag med i analysen (kun fra vassdragsnummer ca. 93-126), slik at «erfaringstallene» her er basert på et begrenset datagrunnlag, og dermed noe usikre [3].

Det er også sett på erfaringstall for mikrofelt (areal under 1 km. Det anbefales at verdier for den spesifikke 200-års flommen ikke bør underskride 2000 l/s·km², eller overskride 5000 l/s·km² [3]. 200-årsflom beregnet med den rasjonelle metode ligger litt over øverste verdi i intervallet for anbefalte verdier for mikrofelt, og vurderes derfor å være konservativ.

2.5 Klimapåslag

Det er forventet at flomforholdene vil endres som følge av fremtidige klimaendringer. I Sør-Trøndelag er det forventet at gradvis reduserte snømengder vil gi gradvis mindre snøsmelteflommer, mens mer nedbør som regn vil føre til at regnflommene blir større. Årsnedbøren i Sør-Trøndelag er beregnet å øke med cirka 20 %, og det er forventet at episoder med kraftig nedbør øker vesentlig både i intensitet og hyppighet i alle årstider. Dette øker sannsynligheten for flom i tettbygde strøk og i små, bratte vassdrag som reagerer raskt på regn. Mindre bekker og elver kan finne nye flomveier [6].

Nedbørmengden for døgn med kraftig nedbør forventes å øke med cirka 20 %. For varigheter kortere enn ett døgn, er det indikasjon på enda større økning. Det er anbefalt å legge et klimapåslag på dagens dimensjonerende nedbør hentet fra IVF-kurver. For dimensjonerende nedbør med kortere varighet enn 3 timer, er det anbefalt et klimapåslag på minst 40 % [7]. Anbefalt klimapåslag på nedbør er vist i tabell 2-8. På bakgrunn av dette anbefales et klimapåslag på 40 % på nedbørverdier i flomvurdering for Ladebekken.

> *Tabell 2-8 Anbefalt klimapåslag for kraftig nedbør [7]*

	Dimensjonerende gjentakintervall < 50 år	Dimensjonerende gjentakintervall ≥ 50 år
≤ 1 time	40 %	50 %
>1 – 3 timer	40 %	40 %
>3 – 24 timer	30 %	30 %

1.1 Flomverdier til videre beregninger

Det er valgt å benytte flomverdier med 40 % klimapåslag i videre flomvurdering for Ladebekken. Flomverdier inkludert 40 % klimapåslag er oppsummert i tabell 2-9.

> Tabell 2-9 Flomverdier benyttet i videre beregninger (kulminasjonsverdier, klimafaktor 40 %)

Flomstørrelse	m ³ /s
Q ₂₀₀	7,0

2 BEREGNING AV VANNSTAND

For å estimere vanndybden i veien når den fungerer som flomvei er det gjort en forenklet beregning der veien er betraktet som en kanal.

Vanndybde er estimert med Mannings formel [4]:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} \sqrt{S_0} = \frac{1}{n} A \left[\frac{A}{P} \right]^{2/3} \sqrt{S_0}$$

Her er:

Q = vannføring(m³/s)

n = Mannings-koeffisient (-)

A = strømningsarealet (m²)

R = A/P = hydraulisk radius (m)

P = våt periferi (m)

S₀ = bunnhellingen (m/m)

Det er benyttet følgende forutsetninger:

- Det er forutsatt at alt vann fra flomveien renner inn i Ladebekken
- Veien er betraktet som en kanal med jevn helning
- Bunnbredden er satt lik veiens totale bredde inkludert fortau. Det er benyttet bredden på veien fra normalprofil (tegning F002).
- Det er sett bort fra at veien skrår svakt ut fra husvegg, kantstein osv.
- Helning på veien er hentet fra lengdeprofil i tegning (C002 A).
- Det er benyttet Manningstall, basert på anbefaling i Tabell 2-1.

Beregnet vanndybde er vist i tabell 2-2.

> *Tabell 2-1 Anbefalte verdier for Manningstall (M) for vanlige overflater og materialer [4]*

Overflate	Typisk steinstørrelse [mm]	Manningstall M [m ^{1/3} /s]	Kilde
Skogbunn	-	5 - 10	Chow (1959)
Tett gress	-	10 - 20	Chow (1959)
Gress	-	25 - 30	Chow (1959)
Leirig jord	0,1	30 - 50	Chow (1959)
Finsand, silt	0,1 - 1,0	40 - 50	Chow (1959)
Sand-grus	1,0 - 10,0	30 - 40	Chow (1959)
Grus, småstein	10 - 30	20 - 30	Chow (1959)
Lite utviklet erosjonshud	10 - 30	20 - 30	Chow (1959)
Steinete	> 30	10 - 20	Chow (1959)
Steinsatt, grov struktur	> 200	5 - 15	Chow (1959)
Glatt asfalt	-	60 - 80	Chow (1959)
Ru asfalt	-	50 - 60	Chow (1959)
Betong	-	80 - 100	Chow (1959)
Glatt plast	-	70 - 110	Chow (1959)
Glatt metall	-	80 - 100	Chow (1959)
Støpejern	-	70 - 100	Chow (1959)
Glatt steinoverflate	-	50 - 70	Chow (1959)

> *Tabell 2-2 Beregnet vanddybde i flomvei mellom profil 432.657 og 227.379*

Vannføring (m ³ /s)	7,0
Helning (%)	0,92
Manningstall, M	75
Bunnbredde, B (m)	17,5
Gjennomstrømt areal, A (m ²)	3,1
Våt periferi, P (m)	17,8
Hydraulisk radius, R (m)	0,2
Vanddybde, y (m)	0,18

3 KONKLUSJON

3.1 Usikkerhet

Det er usikkerhet knyttet til beregnet vanndybde. De viktigste er beskrevet i etterfølgende avsnitt.

3.1.1 Hydrologisk datagrunnlag

Det er gjort en vurdering av det hydrologiske datagrunnlaget i henhold til klassifiseringskriterier i veileder for flomberegninger [8]. Klassifiseringskriterier er vist i tabell 3-1.

I beregning med den rasjonelle metode er det benyttet nedbørdata fra IVF-kurve som er utarbeidet for Trondheim kommune. IVF-kurvene er basert på data fra 6 målestasjoner fordelt rundt i Trondheim, og antas å være representativ for området ved Ladebekken. Det er derfor vurdert at datagrunnlaget er i klasse 2, Brukbart hydrologisk datagrunnlag med observasjoner i eller nært vassdraget [8].

> *Tabell 3-1 Klassifisering av usikkerhet knyttet til det hydrologiske datagrunnlaget [8].*

Klasse	Klassifiseringskriterier
1	Godt hydrologisk datagrunnlag, med observasjoner i vassdraget.
2	Brukbart hydrologisk datagrunnlag, med observasjoner i eller nært vassdraget.
3	Brukbart hydrologisk datagrunnlag, men store gradienter i spesifikke flomstørrelser i området.
4	Begrenset hydrologisk datagrunnlag.
5	Begrenset hydrologisk datagrunnlag og store gradienter i spesifikke flomstørrelser i området.

3.1.2 Nedbørfelt

Nedbørfeltet til flomveien er generert med overflatemodellen Scalgo og deretter korrigert i QGIS basert på gjeldende kart over flomveier i Trondheim kommunes. Fridheimkvartalet er planlagt i et urbant område som er under utvikling. Terreng kan endres og dette vil påvirke hvor vannet drenerer. Det er derfor noe usikkerhet knyttet til avgrensning av nedbørfelt.

3.1.3 Beregning av vannstand

Vannstand i flomveien er berget ved å benytte Mannings formel. Det er brukt forenklinger og forutsetninger som gjør at det er usikkerhet knyttet til resultatet. Beregnet vannstand påvirkes av valg av Mannings tall (overflateruhet). Det er også usikkerhet knyttet til beregnet vannføring.

Tabell 3-2 viser hvordan beregnet vanndybde varierer med endret Mannings tall (ruhet) og vannføring (økt med 20%).

> Tabell 3-2 Beregnet vanndybde med ulike verdier for Mannings tall og vannføring

Situasjon	Vannføring (m ³ /s)	Manningstall, M	Vanndybde, y (m)
Q200 med klimapåslag	7,0	75	0,18
Q200 med klimapåslag	7,0	70	0,19
Q200 med klimapåslag	7,0	80	0,17
Q200 med klimapåslag og sikkerhetspåslag	8,4	75	0,20

3.2 Anbefaling

Beregnet vanndybde må betraktes som et estimat, da det er usikkerhet knyttet til forutsetninger som er lagt til grunn i beregningen. Det anbefales å runde opp til nærmeste 10 cm, dvs. benytte **en vanndybde på 0,2 m** ved planlegging av eventuelle tiltak.

Ved behov for ytterligere reduksjon av usikkerhet anbefales det at det gjøres en hydraulisk modellering av et større område, for eksempel nedbøranalyse.

REFERANSER

- [1] Trondheim kommune, «Temakart,» [Internett]. Available: <https://kart5.nois.no/trondheim/Content/Main.aspx?layout=trondheim&time=638198330595549452&vwr=asv>. [Funnet Februar 2024].
- [2] Direktoratet for byggkvalitet, «Byggeteknisk forskrift (TEK17) med veiledning,» 2017.
- [3] S. Stenius og P. A. Glad, «Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt. NVE-veileder 7/2015,» Norges vassdrags - og energidirektorat, 2015.
- [4] Statens vegvesen, Vannhåndtering. Flomberegninger og hydraulisk dimensjonering. Håndbok V240. Veiledning, Vegdirektoratet, 2020.
- [5] Trondheim kommune, «Prosjektering og utførelse av anlegg,» Trondheim kommune, [Internett]. Available: https://www.trondheim.kommune.no/tema/bygg-kart-og-eiendom/for-leverandorer/prosjekteringsverktoy/#vannavlop_og_renovasjon. [Funnet 8 August 2023].
- [6] Norsk Klimaservicesenter, «Klimaprofil Sør-Trøndelag,» Norsk Klimaservicesenter, 2021.
- [7] A. V. Dyrddal og E. J. Førland, «Klimapåslag for korttidsnedbør - Anbefalte verdier for Norge. NCCS report 5/2019,» Norsk klimaservicesenter, 2019.
- [8] P. A. Glad, S. Stenius, A.-L. Ø. Leine, T. Væringstad, E. Holmquist, M.-P. J. Dahl og E. Trondsen, «Veileder for flomberegninger. Veileder 1/2022,» Norges vassdrags- og energidirektorat, 2022.