

Erosjonssikring langs Anga

Sikringsmetoder og beregning av steinstørrelser

Oppdragsnavn **FV. 601 Angedalsvegen**
 Prosjekt nr. **1350047381**
 Mottaker **Statens Vegvesen**
 Dokument type **Notat**
 Versjon **01**
 Dato **16.05.2025**
 Utført av **Nitesh Godara**
 Kontrollert av **Per Ludvig Bjerke**
 Godkjent av **Per Ludvig Bjerke**

Innholdsfortegnelse

Contents

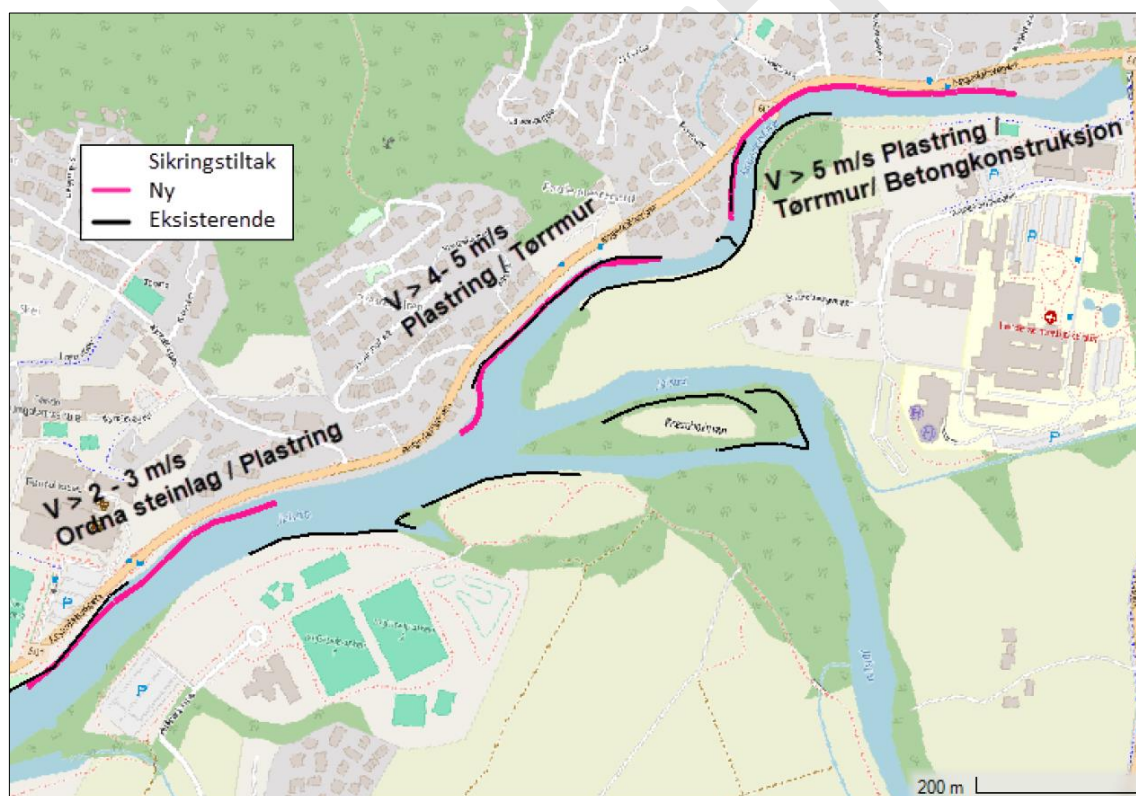
1.	Bakgrunn	2
2.	Hydrauliske beregninger	2
3.	Erosjonssikring	4
3.1	Maynords formel	4
3.2	Resultater	5
3.2.1	Nederste elvestrekningen (vegprofiler 0 til 300)	5
3.2.2	Øverste elvestrekningen (vegprofiler 950 til 1400)	6
3.2.3	Filterlag	7
3.3	Islaster	8
4.	Konklusjon	8
	Referanser	9
	Vedlegg 1	10
	Vedlegg 2	12
	Vedlegg 3	13
	Vedlegg 4	15

1. Bakgrunn

Denne rapporten omhandler erosjonssikring av tre strekninger av Anga nedstrøms Prestfoss (Figur 1). Beskrivelse av sikringen for den midtre strekningen er ferdigstilt og omtalt i rapport 'B01-Prosjekteringsforutsetninger_med_vedlegg'. I denne rapporten er det utført beregninger og gitt anbefalte løsninger for de to gjenværende strekningene.

Den nederste strekningen må også ta hensyn til at tiltak ikke forårsaker skader på miljøet eller infrastrukturen videre nedover Angedalselva. Den øverste strekningen ligger rett nedstrøms Prestfoss, og er spesielt utsatt for erosjon på grunn av store vannhastigheter fra Prestfoss. Sikringstiltak er nødvendige for å forhindre erosjon.

Hensikten med rapporten er å anbefale en bærekraftig og effektiv erosjonsbeskyttelse for disse to områdene ved hjelp av tekniske beregninger.

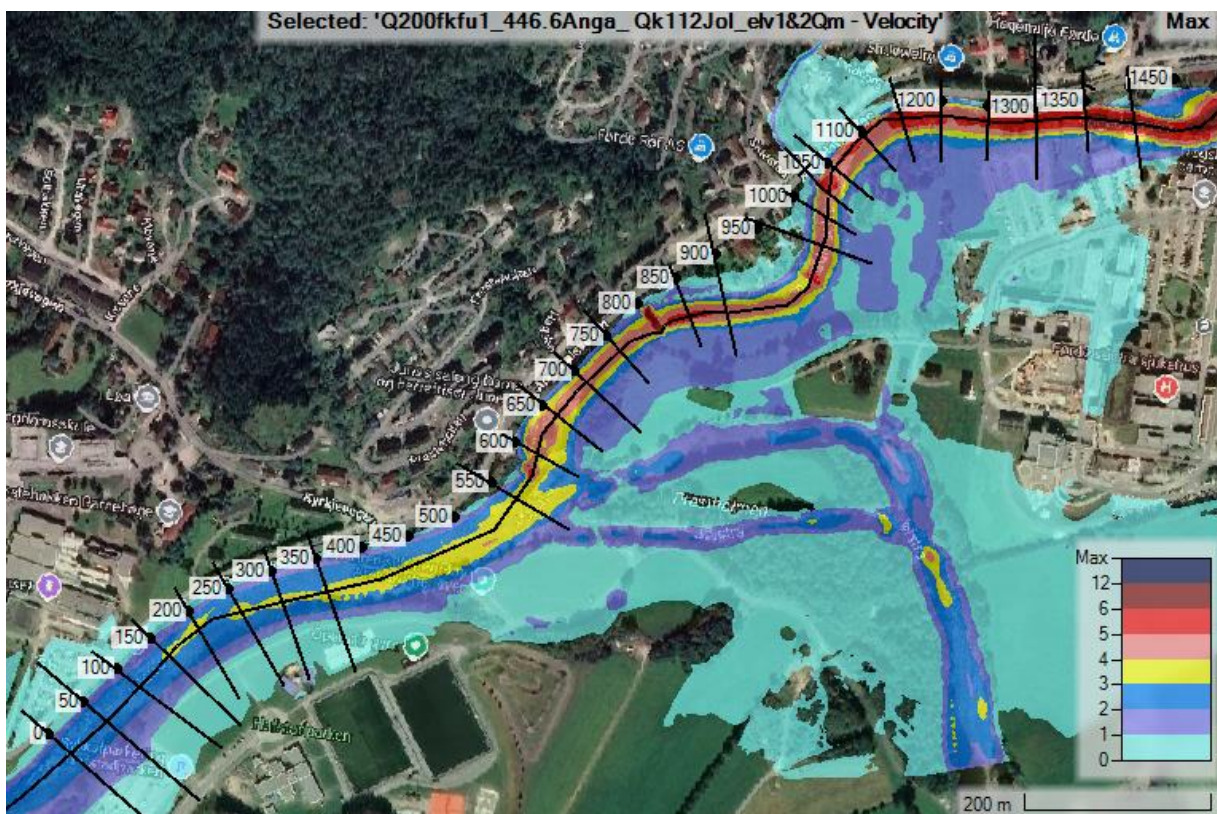


Figur 1: Anbefalt sikringsmetode basert på vannhastigheter og belastningsnivåer ved Anga er markert med rosa linjer (Rambøll, 2024), samt eksisterende erosjonssikring (svart linjer) tatt fra NVE atlas.

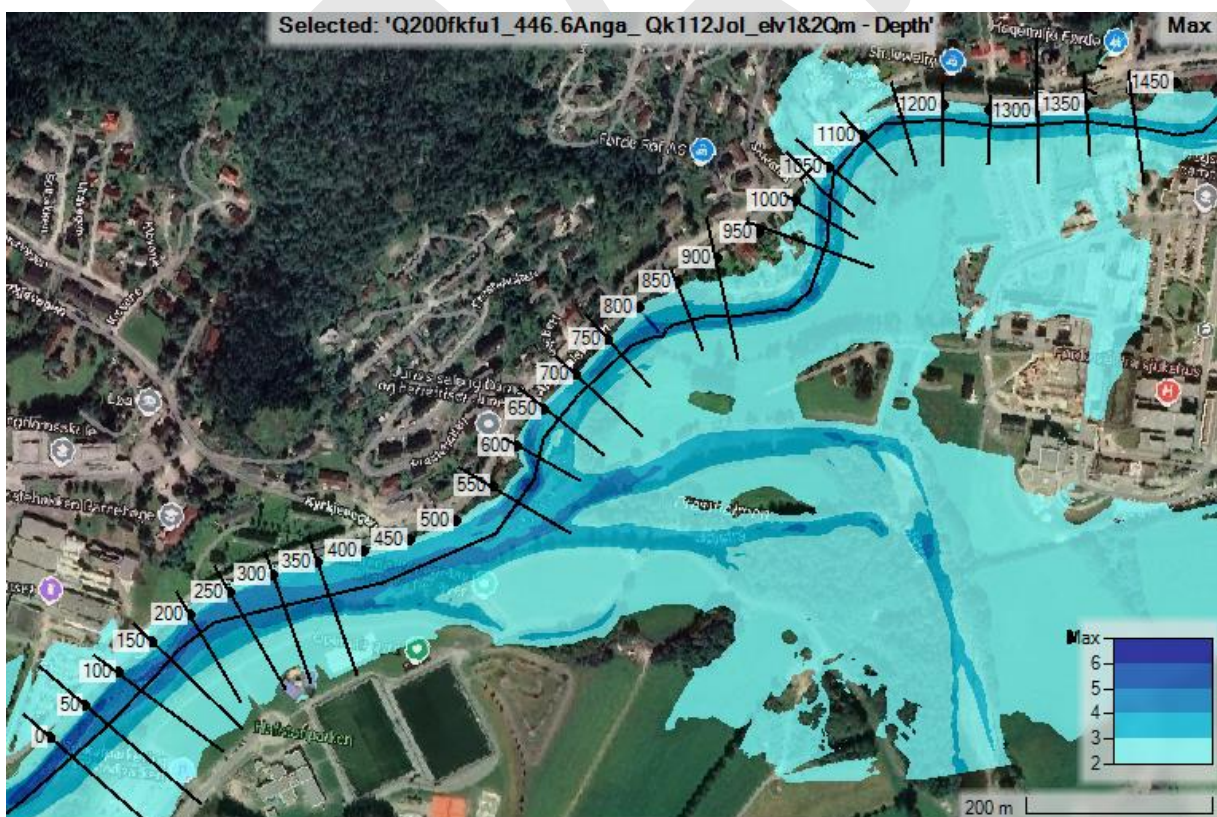
2. Hydrauliske beregninger

Figur 2 og Figur 3 viser beregnede vannhastigheter og vanndybder ved tiltaksområdet for en 200-årsflom på 447 m³/s med 40 % klimapåslag og 10% sikkerhetspåslag. Disse beregningene er tatt fra tidligere hydrologi rapport for Angedalselva (Rambøll, 2023). Hydrauliske beregninger ble utført ved bruk av HEC-RAS 6.4.

Tabell 1 og Tabell 2 viser maks vannhastigheter og vanndybder ved de ulike veiprofilene langs Angedalsvegen.



Figur 2: Maks vannhastigheter ved $Q_{dim,200}$ nedstrøms Prestfoss.



Figur 3: Maks vanddybder ved $Q_{dim,200}$ nedstrøms Prestfoss.

Tabell 1: Beregnede maks vannhastigheter og dybder opptil profil 300 vist i Figur 1 og Figur 2.

Profil	Hastighet (m/s)		Dybde (m)	
	elvekant	senterlinje	elvekant	senterlinje
0	2	2,5	2,5	5,7
50	1,5	2,5	3	5,2
100	1	2,5	2	5,1
150	2	3	1,5	5,5
200	2,5	3,5	2	5,2
250	2	3,5	1,7	4,7
300	1,5	3,5	1,5	4,5

Tabell 2: Beregnede maks vannhastigheter og dybder for profiler 950 til 1400 vist i Figur 1 og Figur 2.

Profil	Hastighet (m/s)		Dybde (m)	
	elvekant	senterlinje	elvekant	senterlinje
950	4	5	2,4	4,1
1000	4	5	2,7	4,4
1050	4	5	2,6	4,2
1100	5	5,5	2,4	4,3
1150	5	6	1,8	4,4
1200	4	5,5	1,3	3,4
1250	4,5	5,5	1,5	3,5
1300	5	5,5	2,3	3,9
1350	4	6,5	1,7	3,8
1400	5	6,5	2,6	3,6

3. Erosjonssikring

Erosjonssikring dimensjoneres etter metoder beskrevet i NVE sin veileder 4/2009 (NVE, 2009). I fokusområdet har Anga en helning som er slakere enn 2 %, og til dimensjonering av side- og bunnsikring anbefales Maynords formel ved bruk av vannhastigheter og vanndybder.

3.1 Maynords formel

Maynords formel gir størrelsen på stein som er stabil i vannstrømmen, D_{30} :

$$D_{30} = S_f C_s C_V C_t y_0 \left[\left(\frac{1}{s-1} \right)^{0,5} \frac{U}{\sqrt{K_1 g y_0}} \right]^{2,5}$$

Hvor:

D_{30} = stabil steinstørrelse [m]

S_f = sikkerhetsfaktor [-]

C_s = stabilitetskoeffisient [-]

C_V = koeffisient for vertikal hastighetsfordeling [-]

C_t = koeffisient for sikringstykkelse [-]

y_0 = vanndybde samme sted som U [m]

s = steinens spesifikke tetthet [-]

U = lokal hastighet midlet over dybden [m/s]

K_1 = koeffisient for skråningshelling [-]
 g = tyngdens akselerasjon, her satt 9,81 [m/s²]

Verdiene av de ulike koeffisientene er valgt etter anbefalinger i veilederen (NVE, 2009). Forholdet mellom D_{30}/D_{50} og D_{maks}/D_{50} er satt til henholdsvis 1,2 og 2.

Tykkelsen på sikringen må minst være den største av $2 \times D_{50}$, D_{maks} eller 300 mm. Dersom sikringen skal utføres under vann skal man etter veilederen gange tykkelsen med 1,5 grunnet usikkerhet i utførelsen under vann. Dersom man under utlegging av sikringen har god sikt og kontroll på den faktisk bygde tykkelsen kan sikkerhetsfaktoren på 1,5 reduseres.

3.2 Resultater

Dimensjonerende hastighet og dybde er bestemt av dimensjonerende 200-årsflom, $Q_{200,dim} = 447 \text{ m}^3/\text{s}$ (Rambøll, 2023).

3.2.1 Nederste elvestrekningen (vegprofiler 0 til 300)

I henhold til Sikringshåndbokens modul F2.001 (NVE, 2023), har den nederste elvestrekningen belastningsnivå 2. For dette nivå, kan det brukes ordna steinlag, eller plastring. Vannhastigheter og vanndybder varierer langs bekken. Derfor ble det brukt gjennomsnitt dybde verdi 3,6 m og maks hastighet 3,5 m/s i beregninger for å være konservativ.

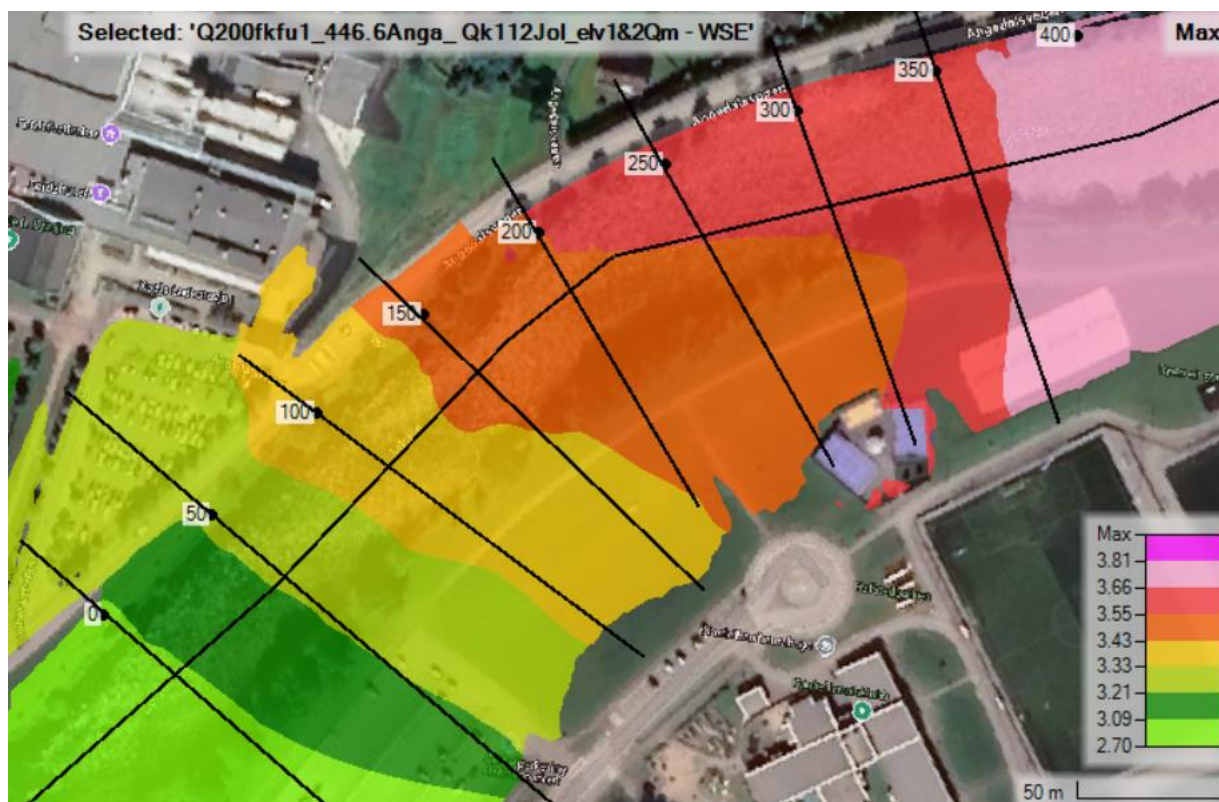
Det utført også en grov beregning for å bestemme erosjonssikringen ved bruk av nomogrammet "Size of stone pitching vs. velocity". Med en sidehelling på 1:2. Nomogrammet viser at nødvendig steinstørrelse er ca. 0,3 m for den nederste elvestrekningen (Se Vedlegg 2). Dette samsvarer med størrelsen beregnet ved bruk av Maynords formel.

Tabell 3 viser beregnet steinstørrelser for denne elvestrekningen. Se Vedlegg 3 for prinsippskisse og veiledning for ordna steinlag.

Tabell 3: Dimensjonering av erosjonstiltak for den nederste elvestrekningen.

Dimensjonering (mm)	Nederste elvestrekningen (vegprofiler 0 til 300)
Stabil steinstørrelse, D_{30}	250
Stabil steinstørrelse, D_{50}	300
Stabil steinstørrelse, D_{maks}	600
Tykkelse av erosjonssikringslag, t	600

Etter Sikringshåndbokas modul F2.201, bør høyde på steinlag være over 0,5 m over dimensjonerende flomvannstand. Den varierer fra ca. 3,1 moh ved profil 0 til 3,6 moh ved profil 300 (Se Figur 4). Den anbefalte minimumstykkelsen på sikringen er 0,5 m.



Figur 4: Maks vannstand ved $Q_{dim,200}$ i Anga ved den nederste strekningen.

3.2.2 Øverste elvestrekningen (vegprofiler 950 til 1400)

Den øverste elvestrekningen har belastningsnivå 3. For dette nivå, hvor vannhastigheter er opptil ca. 6 m/s, er det anbefalt plastring eller tørrmur for å hindre erosjon i elveskråningene.

Vannhastigheter og vanddybder varierer langs bekken. Det ble brukt dybde verdi 4 m og hastighet 5 m/s i beregningene.

Basert på bratte skrånninger, høye vannhastigheter og dybder, anbefales damplastring for denne strekningen, etter Sikringshåndbokas modul F2.203 (NVE, 2023). Dette sikrer tilstrekkelig stabilitet og effektiv erosjonsbeskyttelse. Men damplastring for hele strekning fra vegprofil 950 til 1400 blir for konservativ. I ytterkant, fra vegprofil 1000 til 1200, der det er mest eksponert, anbefales det damplastring på grunn av den bratte sideskråningen.

Nedstrøms vegprofil 1000 mm og oppstrøms vegprofil 1200 mm kan sikres med ordnet steinlag som sikringsmetode.

Minste side av stein for damplastring skal være 600 mm. Runde steiner kan ikke brukes; det må benyttes noe mer kubiske steiner.

Sikringstiltaket må dekke hele elvestrekningen som er utsatt for erosjon, og ha en solid forankring/fotgrøft i oppstrøms og nedstrøms ende samt i elvebunn.

Beregnete steinstørrelser og tykkelse av erosjonssikringslag er presentert nedenfor i [Tabell 4](#). Detaljer er vist i Vedlegg 1.

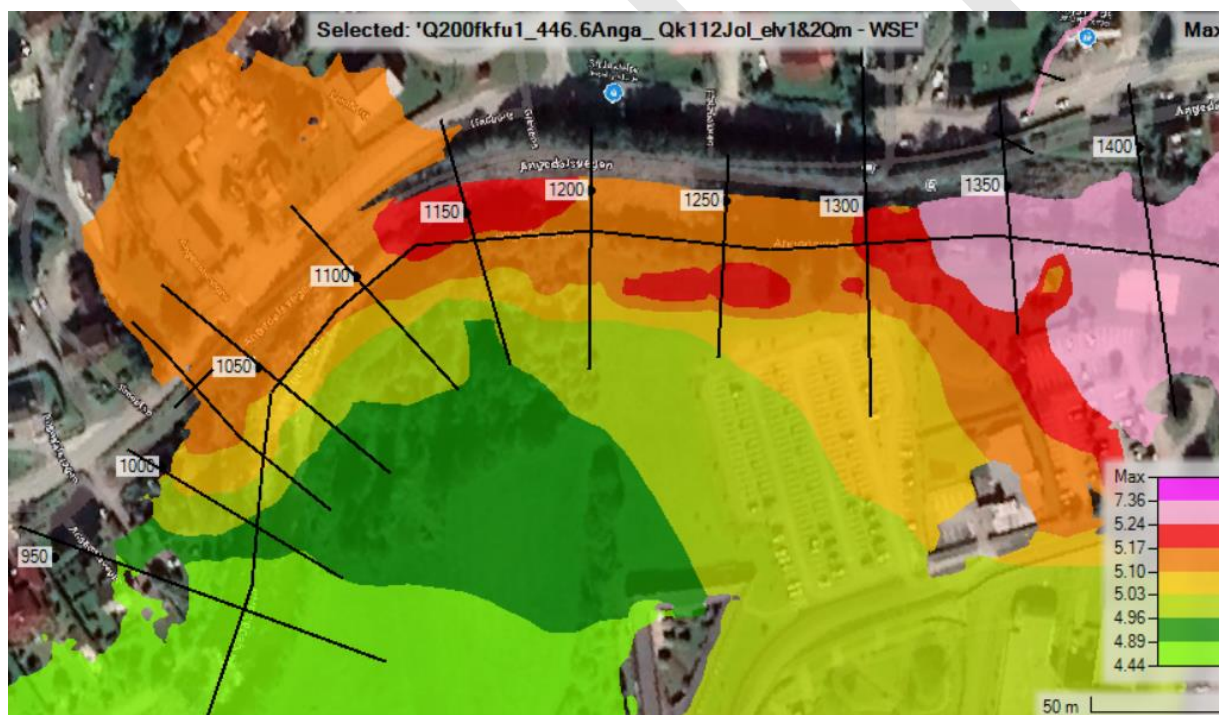
Tabell 4: Dimensjonering av erosjonstiltak. Steinstørrelser er oppgitt i mm (Avrundede verdier).

Dimensjonering (mm)	Øverste elvestrekningen (vegprofiler 950 til 1400)
Stabil steinstørrelse, D_{30}	600
Stabil steinstørrelse, D_{50}	750
Stabil steinstørrelse, D_{maks}	1500
Tykkelse av erosjonssikringslag, t	1500

Ved bruk av nomogrammet "Size of stone pitching vs. velocity" og med en sidehelning på 1:2. Nomogrammet viser at nødvendig steinstørrelse er ca. 0,7 m for denne elvestrekningen (Se Vedlegg 2). Dette samsvarer med størrelsen beregnet ved bruk av Maynords formel.

Høyden på plastringen vurderes ut fra dimensjonerende flom som varierer fra ca. 4,8 moh ved vegprofil 950 til 5,6 moh ved vegprofil 1400 (Se [Figur 5](#)).

Se Vedlegg 4 for prinsippskisse og veiledning for Damplastring.

**Figur 5: Maks vannstand ved $Q_{dim,200}$ i Anga ved den øverste strekningen.**

3.2.3 Filterlag

Langs Anga finnes det to lag med masser beskrevet som følgende (ref. geoteknisk notat):

- Nederst et lag av silt og siltig leire.
- Over dette et lag med tykkelse 0,2-2 m bestående av fin sand (0,2 mm) til grus (> 2 mm).

Etter Sikringshåndboka, dersom de naturlige massene i grunnen består av finere materiale som silt eller sand, er det ofte nødvendig med to filterlag. For Anga, som har silt og siltig leire i bunnen, bør det derfor være to filterlag.

Laget over silten her i Anga består av fin sand (0,2 mm) til grus (> 2 mm) og kan derfor utgjøre det nederste filterlaget. Det ekstra nye filterlaget som legges over dette bør ha en tykkelse på minimum 300 mm og bestå av stein med størrelse 20-120 mm, gitt at største stein i det nederste filterlaget er 5 mm.

Ifølge NVE-veileder (NVE, 2009) bør tykkelsen på filteret økes med 50 % hvis filteret plasseres under vann og man ikke har sikt og kontroll på utleggingen av massene. Dette for å kompensere for utvasking av masse når filteret legges ut. Om dette er nødvendig her må avgjøres av entreprenør ved utlegging.

3.3 Islaster

I tillegg til erosjonsbeskyttelse, må strekningene vurderes for islaster. Elva gjennom Førde sentrum har til tider problemer med isgang, men vannhastighetene og oppstrøms hindringer knuser isflakene, hvilket resulterer i at isgangene utøver små islaster på konstruksjoner i elva.

I en veileder for staten Minnesota i USA fra 1989 (NVE, 2009) anbefales det at dimensjonerende steinstørrelse beregnet i forhold til hydrauliske krefter multipliseres med en sikkerhetsfaktor på mellom 1,2 og 1,5 når sikringsanlegg av stein legges i elver som kan utsettes for is.

Ved å velge en konservativ tilnærming med en sikkerhetsfaktor lik 1,5 på steinstørrelsen i sikringsanlegget, får man en beregning på $D_{50} = 0,5$ m for den nederste strekningen og $D_{50} = 0,75$ m for den øverste strekningen.

4. Konklusjon

Denne rapporten har gjennomført en detaljert analyse og utredning for å beskrive erosjonssikringer for de to gjenværende strekningene av Anga nedstrøms Prestfoss.

For den nederste strekningen er nødvendige tiltak identifisert og beregnet. Vanndybde og vannhastighet som ble brukt for beregning av steinstørrelse er henholdsvis 3,6 meter og 3,5 m/s. Basert på disse resultatene og anbefalte verdier fra NVE-veilederen anbefales bruk av ordna steinlag og plastring som erosjonssikring. Beregnet steinstørrelse for denne strekningen er D_{30} på 250 mm, D_{50} på 300 mm, og D_{maks} på 600 mm, med et minimum tykkelse på 600 mm for sikringslaget. Beregnet steinstørrelse, med en sikkerhetsfaktor på 1,5 for islaster, er $D_{50} = 0,5$ m.

Den øverste strekningen ligger rett nedstrøms Prestfoss og krever derfor ekstra sikring på grunn av sin utsatte plassering. Vanndybde og vannhastighet som ble brukt for beregning av steinstørrelse er henholdsvis 4 meter og 5 m/s. For denne strekningen anbefales bruk av damplastring eller tørrmur på de meste utsatte steder, som kan håndtere den høye erosjonsbelastningen.

Beregnet steinstørrelse for denne strekningen er D_{30} på 600 mm, D_{50} på 750 mm, og D_{maks} på 1500 mm, med et minimum tykkelse på 1500 mm for sikringslaget. Beregnet steinstørrelse, med en sikkerhetsfaktor på 1,5 for islaster, er $D_{50} = 1$ m. Damplastring for hele strekning fra vegprofil 950 til 1400 blir et for konservativt valg. Derfor anbefales det damplastring i yttersving, fra vegprofil 1000 til 1200. Nedstrøms vegprofil 1000 og oppstrøms vegprofil 1200 kan sikres med ordnet steinlag som sikringsmetode.

I tillegg anbefales bruk av et filterlag med steinstørrelse 20-120 mm med en tykkelse på 0,3 m for å motvirke finere materialer som sand og silt.

Referanser

NVE. (2009). *Veileder for dimensjonering av erosjonssikringer av stein*.

NVE. (2023). *Sikringshåndboka*. <https://sikringshandboka.nve.no/moduler/modul-f2-001-beregning-og-valg-av-steinstorrelse-i-erosjonssikringer/tabell-1-sikringstiltak-som-funksjon-av-belastning/>

Rambøll. (2023). *Angedalsvegen, Hydrologiske og hydrauliske beregninger for Angedalselva*.

Rambøll. (2024). *Erosjonssikringsbehov- Angedalsvegen*.

DRAFT

Vedlegg 1

For den nederste elvestrekningen (fra vegprofil 0 til 300):

Erosjonssikring. Bunn og sidesikring. Maynords formel



Dato:	06.05.2025	Prosjektnr:	1350047381
Utført av:	NIGD	Prosjektnavn:	Fv.601 Angedalsvegen
Kontrollert av:	PLB	Revisjon:	
Godkjent av:	PLB		

Metodikk: NVE (2009/4) Veileder for dimensjonering av erosjonssikring. Maynords formel

Grunnlagsdata		Kommentar	
Vanndybde	Y_0	3.6	m
Middel hastighet	V	3.5	m/s
Forhold mellom dybdehastighet og gjennomsnitt hastighet	U/V	1	
Tetthet av stein	ρ	2600	kg/m ³
Sikkerhetsfaktor	S_f	1.1	-
Stabilitetskoeffisient	C_s	0.375	-
Koeffisient for vertikal hastighetsfordeling	C_v	1	-
Koeffisient for plastringstykkelse	C_t	1	-
Side helning (1 : x)	x	2	
Forhold mellom D_{30}/D_{50}	D_{30}/D_{50}	1.2	
Forhold mellom D_{max}/D_{50}	c	2	
Forhold for tykkelse	k	1.5	

Beregninger		Kommentar	
Dybdemiddelhastighet	U	3.5	m/s
Breddens helling ift. horisontal	θ	26.6	°
Spesifikk tetthet	s	2.6	-
Koeffisient for skråningshelling	K_1	0.88	
Stabil steinstørrelse, 30%	D_{30}	259	mm
Stabil steinstørrelse, 50%	D_{50}	311	mm
Stabil steinstørrelse, D_{maks}	D_{maks}	622	mm = c * D_{50}
Tykkelse av erosjonssikringslag	t	622	mm = MAX(k * d_{50} ; D_{max} ; 300)
		600	mm

Avrundet verdi
250 mm
300 mm
600 mm

For den øverste elvestrekningen (fra vegprofil 950 til 1400):

Erosjonssikring. Bunn og sidesikring. Maynords formel



Dato:	25.04.2025	Prosjektnr:	1350047381
Utført av:	NIGD	Prosjektnavn:	Fv.601 Angedalsvegen
Kontrollert av:	PLB	Revisjon:	
Godkjent av:	PLB		

Metodikk: NVE (2009/4) Veileder for dimensjonering av erosjonssikring. Maynords formel

Grunnlagsdata

Kommentar

Vanndybde	y_0	4	m
Middel hastighet	V	5	m/s
Forhold mellom dybdehastighet og gjennomsnitt hastighet	U/V	1	
Tetthet av stein	ρ	2600	kg/m ³
Sikkerhetsfaktor	S_f	1.1	-
Stabilitetskoeffisient	C_s	0.375	-
Koeffisient for vertikal hastighetsfordeling	C_V	1	-
Koeffisient for plastringstykkelse	C_t	1	-
Side helning (1 : x)	x	2	
Forhold mellom D_{30}/D_{50}	D_{30}/D_{50}	1.2	
Forhold mellom D_{max}/D_{50}	c	2	
Forhold for tykkelse	k	1.5	

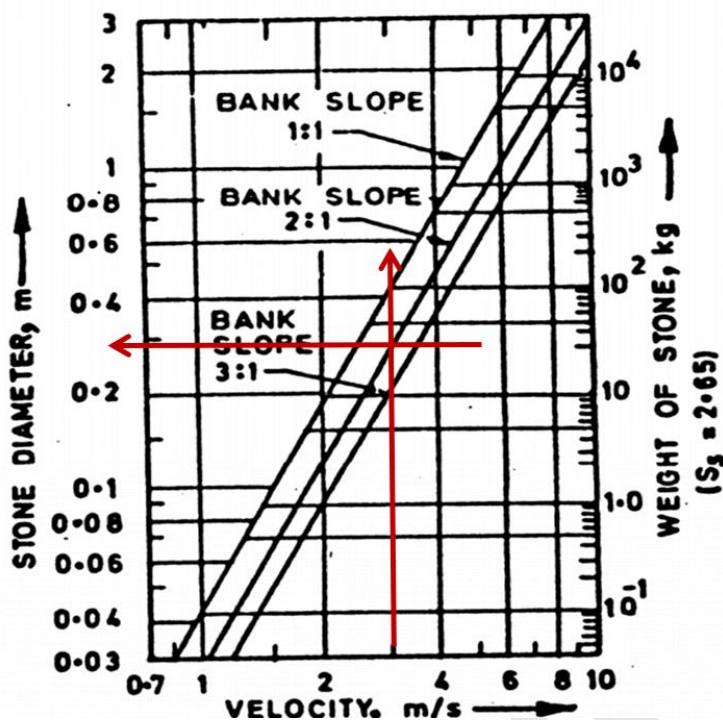
Beregninger

Kommentar

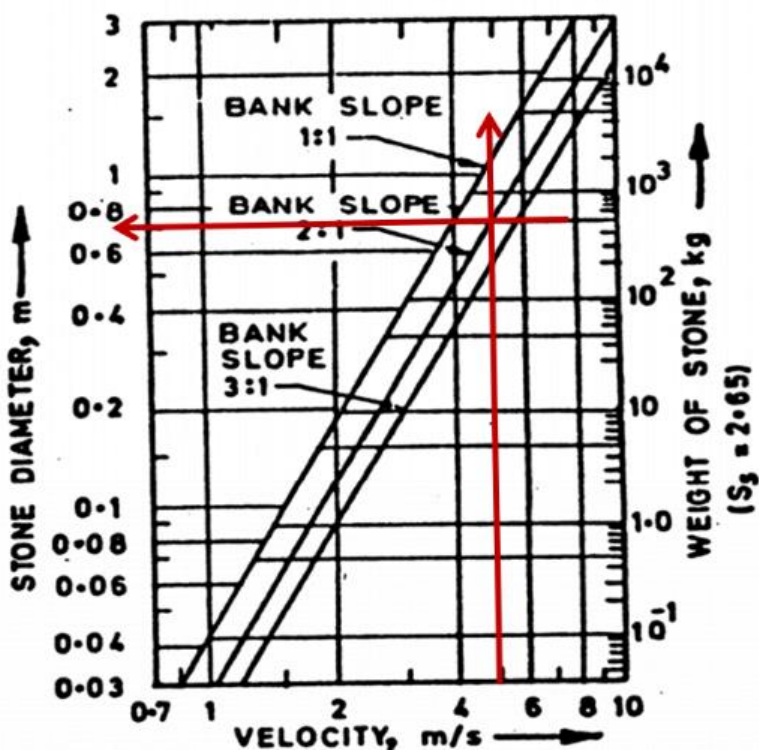
Dybdemiddelhastighet	U	5.0	m/s	
Breddens helling ift. horisontal	θ	26.6	°	
Spesifikk tetthet	s	2.6	-	
Koeffisient for skråningshelling	K_1	0.88		
Stabil steinstørrelse, 30%	D_{30}	616	mm	Avrundet verdi 600 mm 750 mm 1500 mm
Stabil steinstørrelse, 50%	D_{50}	739	mm	
Stabil steinstørrelse, D_{maks}	D_{maks}	1478	mm	
			= $c * D_{50}$	
Tykkelse av erosjonssikringslag	t	1478	mm	= MAX($k * d_{50}$; D_{max} ; 300)
		1500	mm	

Vedlegg 2

Steinstørrelse beregning ved bruken av nomogrammet:



for den nederste elvestrekningen.



for den øverste elvestrekningen.

Vedlegg 3

Veiledning for Ordna Steinlag og prinsippskisse. Fra Sikringshåndboka modul F2.201 (NVE, 2023).

Teknisk utforming

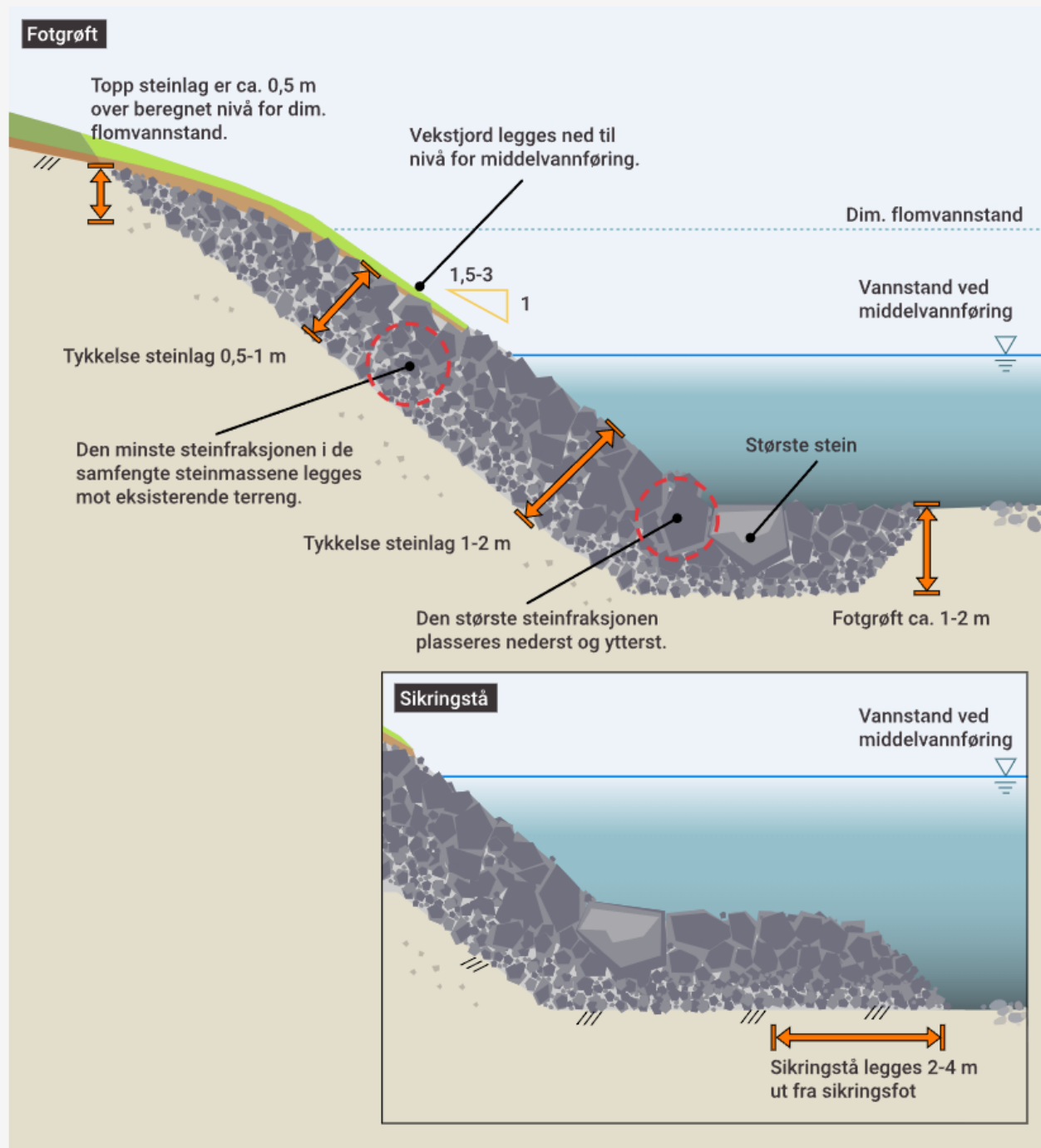
Ordna steinlag består av velgraderte masser med gradering fra null til maksimal tillatte størrelse. Det brukes vanligvis sprengte steinmasser lastet rett fra røys. Steinlaget legges normalt ut med helning mellom 1:1,5 og 1:3. Stabilitet, plassforhold, tilpasning til landskap og miljø, ferdsel for fiskere og så videre, avgjør hvilken sidehelning og utforming av sikringen du bør velge. Toppen av steinlaget legges ofte i nivå med dimensjonerende vannstand pålagt et fribord, eller føres til toppen av skråningen. Fribordet skal ivareta lokal oppstuvning og belastninger fra drivgods og is. Les mer om dette i både [modul F2.005: Sikkerhetspåslag og fribord på vannstand](#) og [modul F2.003: Belastninger fra is og drivgods på sikringsanlegg](#).

Sikringsmassene føres som regel ned i elvebunnen i en omtrent 1–2 meter dyp fotgrøft for å hindre undergraving ved senkning av elvebunnen. Fotgrøft er særlig viktig der vannhastigheten er stor og på steder der elvebunnen er finkornig. Ved dybder utover gravemaskinens rekkevidde legges i stedet en sikringstå med stein utover elvebunnen i forlengelsen av skråningen. Fundamentering er nærmere beskrevet i [modul F2.004: Fundamentering av sidesikring i vassdrag](#).

Det er viktig at du ivaretar den beskrevne graderingen og steinstørrelse for steinmassene for hvert lass. Maskin på stedet må gjennomføre en sortering av steinmassene på tipp i elva. De groveste fraksjonene plasseres nederst og ytterst der en kan vente størst belastning på sikringen. De resterende massene bygges opp til et solid blandet filter mot grunnmassene innenfor. Tykkelsen av steinlaget er avhengig av den dimensjonerende størrelsen på steinen. Siden belastningen fra strømkreftene reduseres fra bunnen og opp mot toppen av sikringslaget, må du sørge for at steinstørrelse og tykkelse på steinlaget er størst ved bunnen og avtar mot toppen. Belastningen fra is/isganger og lokale strømforhold kan gi variasjoner utover dette.

Ordna steinlag med fotgrøft/sikringstå

Se figur 1–6 for bilder og prinsippsskisser for sikringstype ordna steinlag.



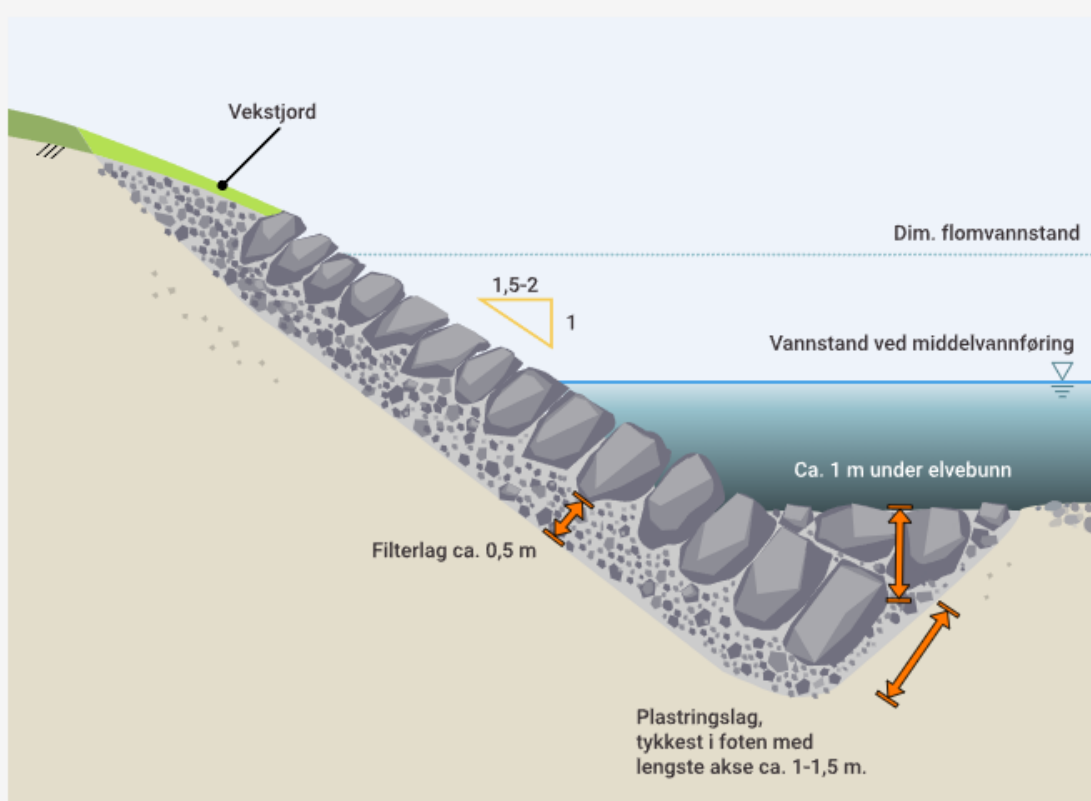
Figur 2: Prinsippsskisse av ordna steinlag med fotgrøft eller sikringstå som sidesikring.

Vedlegg 4

Veiledning for Damplastring og prinsippskisse. Fra Sikringshåndboka modul F2.203 (NVE, 2023)

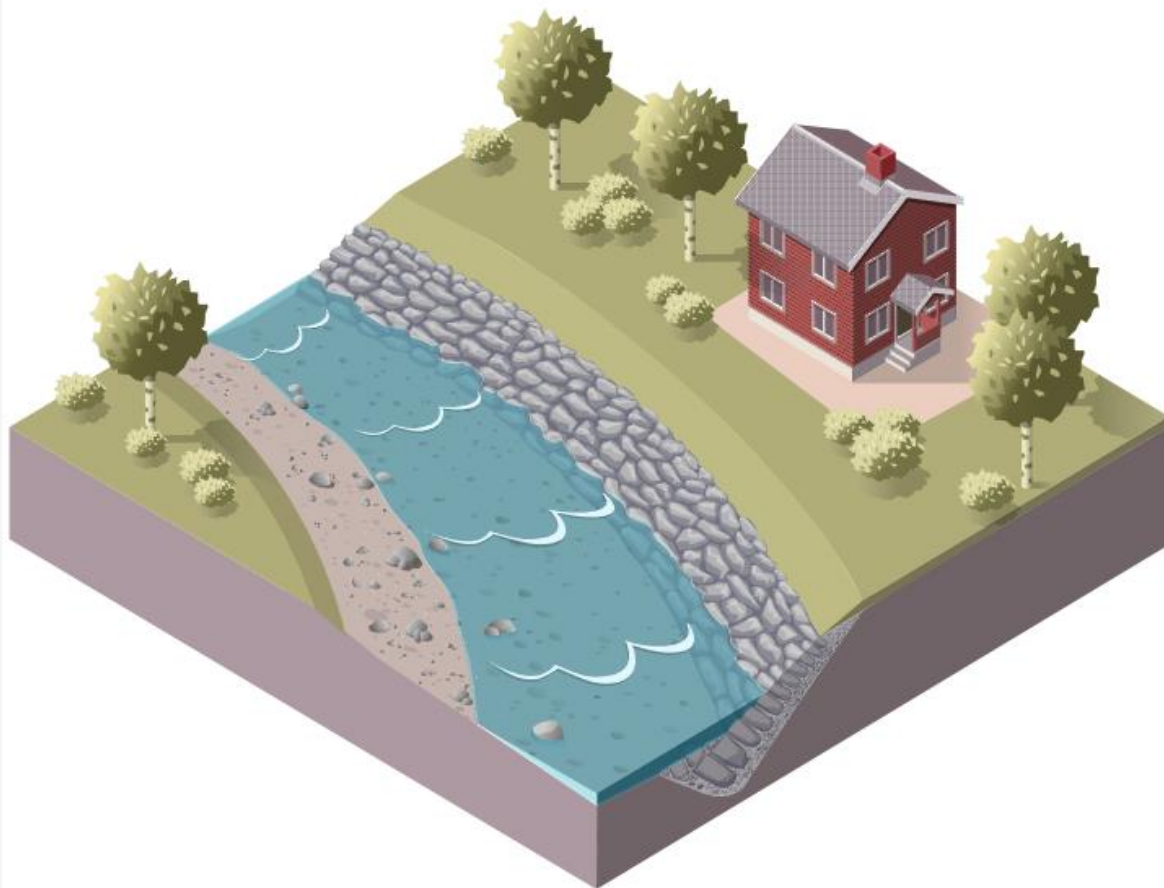
Damplastring (lengste akse innover)

Figur 3 viser et eksempel på prinsippskisse for sikring av elveside med damplastring. Damplastring legges normalt med hellning mellom 1:1,5 og 1:2. Steinblokkene som sorteres ut må ha moderat flisighet, det vil si at forholdet mellom lengste og korteste akse skal være 2–3.



Figur 3: Prinsippskisse av damplastring som sidesikringstiltak, utformet med jevn visflate og med nedgrunning i elvebunn. Tykkelsen på filterlag og steinlag, samt helning på plastring, er anbefalinger.

Plastringen må legges nedenfra og oppover. Steinene legges i knas/mosaikkmønster, som vil si at steinene plasseres slik at de ligger stabilt og med god innbyrdes kontakt, se figur 4. Hver enkelt stein plasseres slik at lengdeaksen ligger med fall innover i sikringen, og hver enkelt stein skal hvile på minst to underliggende steiner i plastringen. Hver stein skal ligge støtt med minimum støtte på tre punkter. Slik dannes et godt forband og overlapping i sikringen. Et godt forband gir økt tetthet i sikringstiltaket da hver enkelt stein får flere kontaktpunkt og steinene "låses" i hverandre.



Figur 4: Plastringsteiner blir lagt i knas/mosaikkmønster. Plasseringen av steinene sikrer at de ligger stabilt og med god innbyrdes kontakt.

For å oppnå best mulig visuelt inntrykk, bør ytterste kant av steinene danne en sammenhengende jevn flate med de andre steinene. Siden steinene har forskjellige lengder må det anrettes et justeringslag bak steinplastringen, som jevner ut lengdevariasjonene. Det normale er at justeringslaget er en ekstra tykk variant av filterlagets ytre del. Husk at det må være tykt nok til å romme alle variasjonene i steinlengdene.