



Noregs miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgåve 2020 30 stp

Fakultet for realfag og teknologi

Miljøpåverknad frå omfyllingsmassar i røyrgrøfter

Environmental impact of backfill materials in pipe
trenches

Inga Rise

Vann- og miljøteknikk

Forord

Denne masterenoppgåva markerar slutten på mastergraden min i Vann- og miljøteknikk ved Noregs Miljø- og Biovitenskaplege Universitet. Oppgåva er skriven i samarbeid med Norsk Vann hausten 2020 og omfattar 30 studiepoeng.

Masteroppgåva starta som eit prosjekt, som fort fleire aktørar i den norske vassbransjen blei interessert i, desse har utgjort styringsgruppa for prosjektet. Eg har fått god hjelp og gode innspel frå gruppa, med Norsk Vann i spissen, og vidare av MEF, Norsk Bergindustri, Franzefoss Pukk, Statens Vegvesen, Basal, Pipelife og PAM. Prosjektet resulterer i denne masteroppgåva, som har eit miljøfokus på ulike omfyllingsmassar, samt ein rapport frå SINTEF som tek for seg den mekaniske delen ved bruk av alternative massar i røyrgrøfter.

Under analysearbeidet har eg fått god hjelp og innføring av programvara av Mie Vold frå lca.no.

Videre er det to personar eg vil utbringe ein ekstra stor takk til, og det er vegleiarane mine ved NMBU Vegard Nilsen (hovudvegleiar) og John Morken (bivegleiar) for god og motiverande rettleiing.

Til slutt vil eg takke venner, familie og kollektivet mitt som har motivert og støtta meg gjennom studiet og masterskrivinga. Og ikkje minst den fantastiske linjeforeininga AquariÅs som har bidrege med kaffe og vaffeljern til masterarbeidet.

Ås, Desember, 2020

Inga Rise

Samandrag

I dag er det ikkje vanleg å nytte heile spekteret av storleikar for omfyllingsmassar som er tillete for eit røyrmateriale i ei røyrgrøft. I den gjennomførte spørjeundersøkinga, som er utført i samband med dette prosjektet, svarar opp til fleire kommunar at dei nyttar fraksjonar som blir produsert i tredje og fjerde knusetrinn hos pukkverka i røyrsona. Dette er smale fraksjonar som 8/11 og 8/16. Ved å utnytte heile det tilletne fraksjonsspekteret for kvart enkelt røyrmateriale, kan ein redusere tal knusetrinn. Alle dei undersøkte røyrdimensjonane og røyrmateriala kan nytte massar frå knusetrinn to, og nokre kan i tillegg nytte massar frå knusetrinn ein i sidefylling og beskyttelseslag. Alle røyrmateriala tillet bruk av stadlege massar i røyrsona utanom veg, dette er derfor også med i vurderingane.

I denne studien blir det sett på miljøpåverknaden av omfyllingsmassane for eitrøyrgrøfter med dimensjon 300 og 600 millimeter, samt fleirrøyrgrøfter med dimensjonar opp til 300 millimeter. Det er utført ei livssyklusanalyse, der det er sett på livsløpet til omfyllingsmassane frå produksjon på pukkverk, transport og etablering av sjølvgrøfta. EPD-generatoren til lca.no er blitt nytta for å komme fram til verdiar for miljøpåverknadane. Det er her sett på det globale oppvarmings potensialet (kilogram CO₂ per meter grøft). Kva som skjer med grøftemassane etter endt livsløp på 100 år er ikkje inkludert i denne analysa, og heller ikkje miljøpåverknadane frå dei ulike røyrmateriala.

Analysearbeidet kjem fram til at den største miljøpåverknaden, når transportavstanden er under 20 kilometer, er frå utføringa. Dette gjeld uansett leggedjupn og val av massar. For grøfter med opp til tre meter overdekning, vil det ved transportavstandar over 50 kilometer vere transport som er den største miljøpåverknaden. Produksjon av massar gjev i alle tilfeller, der transportavstanden er over 10 kilometer, minst miljøpåverknad. CO₂-utsleppet vil bli mindre ved å redusere tal knusetrinn. Reduserarar ein frå fire til eit knusetrinn for massane i røyrsona, blir miljøpåverknaden frå produksjon av massar omlag halvert. Å nytte stadlege massar gjev minst miljøpåverknad, sidan ein då ikkje treng å produsere pukk eller transportere pukk. Bruk av stadlege massar bør derfor alltid vurderast, men desse må framleis fylje fraksjonskrava for aktuelle røyrmaterialar og røyrdimensjonar.

Summary

Today it is not common to use the full range of sizes for backfill masses that are permissible for a pipe material in a pipe trench. In the completed survey, which was carried out in connection with this project, several municipalities answer that they use fractions produced in the third and fourth crushing stages at the crushing plant in the pipe zone. These are fractions such as 8/11 and 8/16. By utilizing the entire permissible fraction spectrum for each individual pipe material, the number of crushing steps can be reduced. All the pipe dimensions and -materials examined can use masses from crushing stage two, and some can also use masses from crushing stage one in side filling and protective layers. All pipe materials allow the use of local masses in the pipe zone, this is therefore also included in the assessments.

This study looks at the environmental impact of the backfill masses for single-pipe trenches with dimensions up to 600 millimeters, as well as multi-pipe trenches with dimensions up to 300 millimeters. A life cycle analysis has been performed, which looks at the life cycle of the backfill masses from production at crushing plants, transport and the establishment of the trench. The EPD generator for lca.no has been used to calculate values for the environmental impact (kg CO₂ per meter of trench). What happens to the trench masses after the end of the life cycle of 100 years is not included in this analysis, nor are the environmental impacts from the various pipe materials.

The analysis work concludes that the greatest environmental impact, when the transport distance is less than 20 kilometers, is from the execution. This applies regardless of laying depth and choice of masses. For trenches with a cover of up to three meters, transport distances over 50 kilometers will be the largest environmental impact. Mass production in all cases, where the transport distance is over 10 kilometers, has the least environmental impact. CO₂ emissions will be reduced by reducing the number of crushing steps. If you reduce from four to one crushing step, the environmental impact from the production of masses is approximately halved. Using local masses has the least environmental impact, since you avoid the production of crushed stone and transport. The use of local masses should therefore always be considered, but these must still meet the requirements for the relevant pipe materials and pipe dimensions.

Innhold

Forord	i
Samandrag	iii
Summary	v
Innhald	vii
Figurar	x
Tabellar	xii
1 Introduksjon og bakgrunn	1
1.1 Bakgrunn og problemstilling	1
1.1.1 Bakgrunn	1
1.1.2 Problemstilling og formål	2
1.2 Tilstand i Noreg fram til i dag	3
1.3 Grøfteteknologi	5
1.3.1 Ulike røyrmateriale - Stive eller fleksible røyr	6
1.3.2 Grøftetverrsnittet	11
1.3.3 Røyrgrøfter under veg	16
1.3.4 Grunnen under og rundt grøfta	17
1.4 Materialval for omfyllingsmassar i røyrgrøfter	20
1.4.1 Kva er eit steinmateriale	20
1.4.2 Produksjon av steinmateriale på pukkverk	23
1.4.3 Krav til omfyllingsmateriale i røyrgrøfter	25
1.4.4 Komprimering av omfyllingsmassar	30
1.5 Kvifor det er viktig med eit berekraftsfokus for omfyllingsmassar i røyrgrøfter	33
1.5.1 FNs berekraftsmål	33
1.5.2 Levetid pukkressursar i Noreg i dag	33
1.5.3 Transport av pukkressursar	34
1.6 Kva er LCA	36
1.6.1 Miljødeklarasjon (EPD)	37
2 Metode	41

2.1	Kartlegging	41
2.1.1	Systemgrenser	41
2.1.2	Funksjonell eining	42
2.2	Datagrunnlag og gjennomføring	47
3	Resultat	51
3.1	Miljøpåverknadar for produksjon av ulike typar massar	51
3.1.1	Røyrdimensjon 300 millimeter	51
3.1.2	Røyrdimensjon 600 millimeter	53
3.1.3	Fleirrøyrsgrofter	55
3.2	Ulike transportavstandar	57
3.3	Miljøpåverknadar ved utføring	59
4	Diskusjon	63
4.1	Diskusjon av datagrunnlaget	63
4.2	Diskusjon av krav til ulike fraksjonar	64
4.2.1	Diskusjon av masseval for termoplastrøyr	64
4.2.2	Diskusjon av masseval for betongrøyr	64
4.2.3	Tverrsnitt for duktile støypejernsrøyr	65
4.2.4	Bruk av stadlege massar i grøftetverrsnittet	65
4.3	Diskusjon av resultata	66
4.4	Diskusjon av forbetningspotensiale rundt dagens praksis	67
5	Konklusjon	69
5.1	Forslag til vidare arbeid	70
	Referanser	71
	Vedlegg A Rapport spørjeundersøking	75
	Vedlegg B Rapport frå synfaring Steinskogen pukkverk	79
	Vedlegg C Data for resultatdelen	83
C.1	DN300	83
C.2	DN600	84
C.3	Fleirrøyrsgrofter	85
	Vedlegg D Utklipp frå rekneark for lca-berekning	87

Figurer

1.1	Korleis vatn-, avløp- og overvassnettene heng saman.	3
1.2	Vassbalansen til det norske vatn- og avløpsnettene	4
1.3	Setningar i jorda for stive røyr	6
1.4	Korleis jordlaster fungerer på fleksible røyr.	8
1.5	Setningar for fleksible røyr.	9
1.6	Oppbygging av ei røyrgrøft med eit røyr.	11
1.7	Typisk oppbygging av ei fleirrøyrgrøft.	14
1.8	Leidningssone si plassering under vegen.	16
1.9	Røyrgrøft med isolasjonsplater.	19
1.10	Skilnaden mellom einsgraderte og velgraderte massar.	21
1.11	Siktkurver for ulike jordgrupper.	22
1.12	Enkelt flytskjema for generell produksjon på pukkverk.	24
1.13	Flytskjema for produksjon av 4/16 ved Solum pukkverk, Holmestrand.	24
1.14	NPG sitt krav til største kornstorleik i gjenfyllinga	30
1.15	Forholdet mellom tørr densitet og vassinnhald ved komprimering.	31
1.16	Ulike komprimeringskurver for ulike jordartar.	32
1.17	Miljøpåverknad transport av materiale for Oslo, Bergen og Trondheim.	35
2.1	Forenkla prosessstre for livsløpet til grøftemassane.	41
2.2	Funksjonell eining for eitrøyrgrøft DN 300 millimeter.	43
2.3	Funksjonell eining for eitrøyrgrøft DN 600 millimeter.	44
2.4	Funksjonell eining fleirrøyrgrøft.	46
3.1	CO ₂ -utslepp frå pukkproduksjon for DN 300 millimeter under veg.	52
3.2	CO ₂ -utslepp frå pukkproduksjon for DN 300 millimeter utanom veg.	52
3.3	CO ₂ -utslepp frå pukkproduksjon for DN 600 millimeter under veg.	53
3.4	CO ₂ -utslepp frå pukkproduksjon for DN 600 millimeter utanom veg.	54
3.5	CO ₂ -utslepp frå pukkproduksjon fleirrøyrgrøfter under veg.	55
3.6	CO ₂ -utslepp frå pukkproduksjon fleirrøyrgrøfter utanom veg.	56
3.7	CO ₂ -utslepp frå transport for DN 300 millimeter.	57
3.8	CO ₂ -utslepp frå transport for DN600 millimeter.	58

3.9	CO ₂ -utslepp frå transport for fleirrøyrsgrofter.	58
3.10	CO ₂ -utslepp frå utføring for DN 300 millimeter.	59
3.11	CO ₂ -utslepp frå transport for DN 600 millimeter.	60
3.12	CO ₂ -utslepp frå transport for fleirrøyrsgrofter.	60
3.13	CO ₂ -utslepp frå transport for ulike vinklar.	61
B.1	Oversikt over Steinskogen pukkverk.	80
B.2	Overskotsmassane til Franzefoss.	80
B.3	Prosesstre henta frå EPD til pukkverket.	81
B.4	Produserte steinfraksjonar ved Steinskogen pukkverk.	82
D.1	Utsnitt av det nytta reknearket del 1.	88
D.2	Utsnitt av det nytta reknearket del 2.	89
D.3	Utsnitt av det nytta reknearket del 3.	90
D.4	Utsnitt av det nytta reknearket del 4.	91

Tabeller

1.1	Eignaheit for fleksible røyrmateriale for ulike forhold.	7
1.2	Maks deformasjon som er tillete for termoplastrøyr (PVC, PE, PP). . . .	8
1.3	Eignaheit for fleksible røyrmateriale for ulike forhold.	10
1.4	Kva for funksjonar dei ulike laga i ei røyrgrøft har.	12
1.5	Krav til avstandar i grøftesona.	13
1.6	Frostfri djupn for utvalde byar i Noreg.	18
1.7	Frostdjupnfaktor for ulike massar.	18
1.8	Fraksjonsinndeling for steinfraksjonar.	20
1.9	Inndeling av ulike jordgrupper etter materiale og kornstorleik.	22
1.10	Steinmassar utvalde kommunar nyttar i dag.	25
1.11	Krav til største kornstorleik jamfør NS3420.	26
1.12	Krav til største kornstorleik jamfør VA/Miljøblad nr.5 og nr.6.	26
1.13	Krav til største kornstorleik jamfør NPG.	27
1.14	Krav til største kornstorleik jamfør Basal.	27
1.15	Krav til største kornstorleik jamfør PAM.	27
1.16	Krav til største kornstorleik jamfør N200.	28
1.17	Krav til største kornstorleik jamfør R761.	28
1.18	Krav til største kornstorleik i gjenfyllinga.	29
1.19	Lagtjukknadar som er anbefalt for å oppnå 95 prosent Standard Proctor. .	32
1.20	Levetid for pukkressursar for utvalde fylker og samanlagt i Noreg.	34
1.21	Transportavstandar for steinmassar frå pukkverk for utvalde kommunar. .	35
1.22	Standardsteg for eit livsløp i ein EPD.	38
1.23	Miljøpåverknad frå LCA-analyse som også blir oppgjeven i EPD.	39
2.1	Variablar som er lagt til grunn for analysearbeidet.	43
2.2	Analyserte fraksjonar for eitrøyrsgroft med tverrsnitt 300 millimeter. . .	44
2.3	Analyserte fraksjonar for eitrøyrsgroft med tverrsnitt 600 millimeter . . .	45
2.4	Analyserte fraksjonar for fleirrøyrsgrofter.	46
2.5	Kvar dataen for dei ulike stega i livsløpet er henta frå.	47
2.6	Tal på knusettrinn ulike knuseverk har for ulike fraksjonar.	48

2.7	Fraksjonar og knusetrinn som er nytta i analysa	49
A.1	Kommunane frå spørjeundersøkinga.	75
A.2	Antall kommunar som nyttar ulike fraksjonar som omfyllingsmassar. . . .	76
A.3	Gjennomgang av leggedjupn frå aktuelle kommunar sine VA-normer. . . .	77
C.1	Datagrunnlag knytt til pukkproduksjon DN300	83
C.2	Datagrunnlag knytt til transport DN300.	83
C.3	Datagrunnlag knytt til utføring DN300.	84
C.4	Datagrunnlag knytt til pukkproduksjon DN600.	84
C.5	Datagrunnlag knytt til transport DN600.	84
C.6	Datagrunnlag knytt til utføring DN600.	84
C.7	Datagrunnlag knytt til pukkproduksjon for fleirrøyrsgrofter.	85
C.8	Datagrunnlag knytt til transport for fleirrøyrsgrofter.	85
C.9	Datagrunnlag knytt til utføring for fleirrøyrsgrofter.	85

1. Introduksjon og bakgrunn

1.1 Bakgrunn og problemstilling

1.1.1 Bakgrunn

Denne masteroppgåva er skriven i samarbeid med Norsk Vann. Prosjektet blei starta med bakgrunn i aukande etterspørsel og interesse frå bransjen for å nytte alternative omfyllingsmassar i røyrgrøfter. Den aukande interessa kjem mellom anna av stadig større fokus på miljø og berekraft. Målet med prosjektet er å sjå på fordelar og ulemper ved bruk av massane som er vanleg å nytte i dag, og ved å nytte alternative massar. Ut frå ei spørjeundersøking utført i regi av dette prosjektet, er vanlege fraksjonar som kommunar føretrekk i dag fraksjonar som 8/11, 8/16 og 11/16, og nokre stadar 4/16. Fraksjonane i grøfter blir ofte skreven på denne måten d/D . Der d er minste tillatte kornstorleik, og D er høgste tillatte kornstorleik. For grøfter med dei minste røyrdimensjonane kan ein nytte maks steinstorleik 22 millimeter. Fleire aktørar i bransjen ynskjer å sjå på miljøpåverknaden om ein klarer å utnytte heile det tillatne spekteret av steinfraksjonar, i staden for dei utvalde fraksjonane som er meir vanlege i dag. Samt å sjå på miljøpåverknaden av transport av massar og utføring av sjølve grøftearbeidet.

SINTEF skal som ein del av prosjektet parallelt undersøke dei mekaniske eigenskapane, om grøfta held levetida på 100 år, ved å utføre ein litteraturstudie.

Vidare har fleire partar i bransjen fått interesse for prosjektet, og styringsgruppa består av:

- Norsk vann: Representerer norske kommunar.
- Franzefoss Pukk As: Produsent av grøftepukk.
- Norsk Bergindustri: Bransjeforeininga for heile den norske mineralnæringa.
- Maskinentreprenørenes forbund (MEF): Representerer dei utførande.
- Statens vegvesen: Har krav til grøfter plassert under veg.

- Basal: Produsent av betongrør.
- Pipelife: Produsent av plastrør.
- PAM: Produsent av støypejernsrør.

1.1.2 Problemstilling og formål

Formålet med denne studien er å undersøke miljøpåverknaden til alternative grøftemasser ein kan nytte i grøfter for vatn, avløp og overvatn. Alternative massar som vil bli undersøkt i denne studien er fraksjonar av massar frå pukkverk, som utnyttar betre det tilletne spekteret av steinstorleikar i røyrsona. Ved å nytte ein breiare fraksjon frå pukkverk kan antall knusetrinn bli redusert og ein kan få betre utnytting av massane, noko som kan redusere miljøpåverknaden. Miljøpåverknaden ved å nytte stadelege massar vil også bli undersøkt, då vil mellom anna transportavstandane bli redusert. Det vil bli sett på kva for eit steg i livsløpet for massane som har størst miljøpåverknad, om det er produksjon av steinmassar, transport eller grøfteutførelse.

Hovudspørsmålet som skal svarast på i denne studien blir:

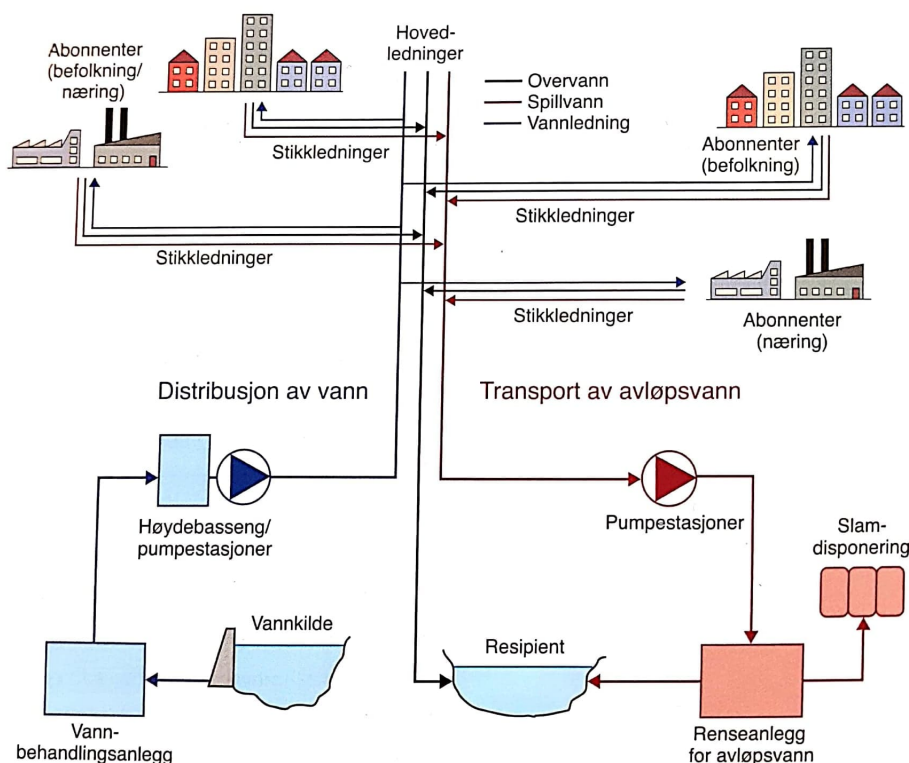
Kva er potensialet for å redusere miljøpåverknaden i livsløpet til grøftemassane?

Vidare skal følgande underspørsmål studien svarast på:

- Kva er bidraget til CO₂-utslepp frå dei ulike delprosessane ved etablering av røyrgrøfter?
- Kva er miljøgevinsten ved å nytte alternative massar med færre knusetrinn eller stadlege massar kontra dagens praksis?

Oppgåva er avgrensa til:

- Rør med diameter opp til 700 millimeter
- Sjå på betongrør, duktile støypejernsrør og termoplastrør
- Ikkje sjå på miljøpåverknaden frå røyrmateriale
- Tradisjonelle grøfter, ikkje gravefrie grøfter
- Alternativ som omfattar eksisterande standardar, retningslinjer og leggerettleiarar.

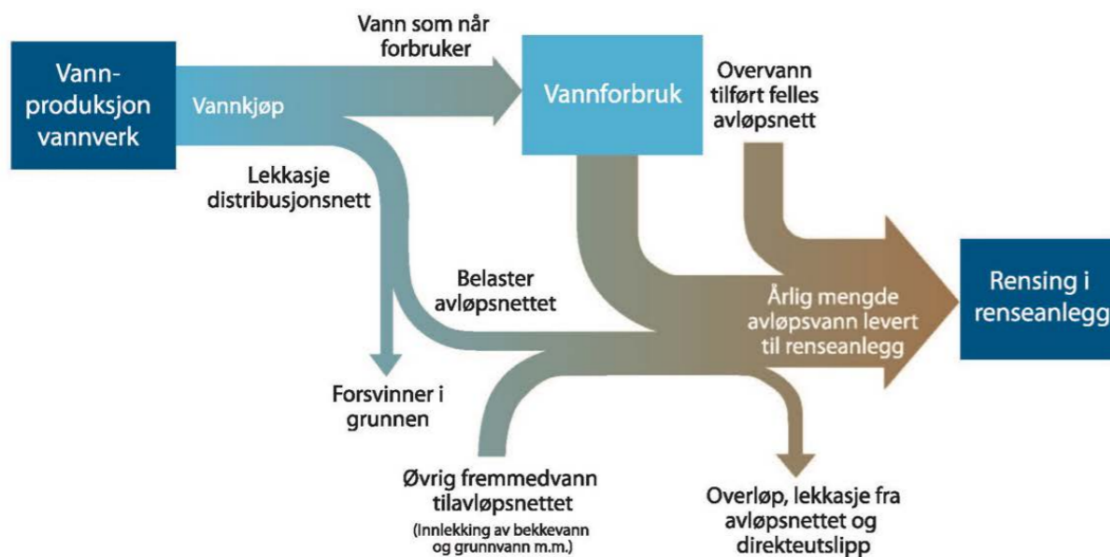


Figur 1.1: Korleis det norske vass-, avløps- og overvassnettet heng saman. (Norsk Vann, 2014)

1.2 Tilstand i Noreg fram til i dag

Rørleidningsnettet i Noreg består hovudsakleg av drikke-, avløp- og overvassleidningar (figur 1.1). Frå gammalt av er det også nokre plassar fellesleidningar beståande av både avløps- og overvatn i same røyr. Kommunane har som regel ansvar for leidningsnettet frå uttaket på vasskjelda fram til stikkleidningen, og same for avløpsleidningar. I 2019 hadde Noreg 49 355 711 meter med leidningsnett til kommunal drikkevassforsyning. Frå desse kom omlag 30,7 prosent av alt produsert forsyningsvatn aldri fram til forbrukar (Statistisk sentralbyrå [SSB], 2020). Norsk Vann har berekna at det lek ut drikkevatn verdt 273 millionar kroner kvart år. Noko av dette drikkevatnet lek inn att i avløpsleidningar, der vatnet blir transportert til avløpsreinseanlegg og reinsa (figur 1.2). Norsk Vann har estimert at denne avløpsreinsinga av drikkevatn kostar 81 millionar kroner årleg. Dette vil seie at lekkasjar frå drikkevatnet kostar Noreg rundt 350 millionar i året (Breen, 2019).

I *Protokoll for Vann og helse* har Regjeringen (2014) sett eit mål om: "Årlig utskifting/rehabilitering av vannledningsnett bør i gjennomsnitt være 2 prosent på nasjonalt nivå frem til 2035". I 2019 var gjennomsnittet for utskifting av drikkevassleidningar for dei siste tre åra 0,68 prosent (Statistisk sentralbyrå [SSB], 2020) og 0,60 prosent for spillvassleidningar (SSB, 2019). Norsk Vann anslår i ein rapport som omhandlar kost-



Figur 1.2: Tilstanden av vassbalansen på norske vatn- og avløpsnett. (Rostad, 2017)

nader i vassbransjen frå 2016 fram mot 2040 at Noreg vil ha eit investeringsbehov på 284 milliardar kroner for vatn- og avløpsnettet (Rostad, 2017).

At lekkasjar oppstår kan skuldast historisk dårleg utført arbeid ved legging, alderen på røyrret, røyrmateriale og grunnforhold (Mattilsynet, 2019), samt lite fokus på å fornye nettet før lekkasjane oppstår.

I dag ser ein stor skilnad på haldbarheiten på røyr frå ulike tider. I Noreg byrja ein å legge ned drikkevass- og avløpsrøyr frå omkring 1850. På denne tida byrja ein å sjå eit større behov for å betre vatn- og sanitærforholda, grunna fleire bybrannar og sjukdomsepidimiar. For å frakte drikkevatt blei det nytta støypejernsrøyr, og glaserte leirrøyr til avløpsvatn. På denne tida var det ikkje vanleg med anleggsmaskiner, derfor blei røyra lagt ned og grøftene oppbygd for hand. Grøftearbeid frå denne tida og fram til andre verdskrig vert vurdert som god, og har bra haldbarheit. (Norsk Vann, 2014)

Frå 1950-talet blei det meir og meir vanleg å nytte anleggsmaskiner og ein kunne grave nye grøfter djupare og meir effektivt. I takt med befolknings- og levestandardauke blei det etablert ei stort mengde grøfter fram mot 1970. I denne tidsperioden hadde ein lite kunnskap om lastpåverknad på røyra, og tok ikkje omsyn til punktlaster frå større steinar på røyrret (Berg, 2017). Det var også nokre stadar vanleg å legge røyra på skolingar, gjerne av tre. Desse rotna med tida vekk, og førte til setningar og vidare ujamn belastning av røyra. Frå denne tidsperioden er det få røyr som klarar å halde dagens mål om 100 års levetid.

Frå 1970-tallet fekk ein krav til omfyllingsmassane og arbeidsutføringa i røyrgrøfter. Det

blei vanleg å etablere komprimert fundament av pukk (Berg, 2017). På denne tida blei det også vanleg å separere spillvatn og overvatn i ulike leidningar. (Berg, 2017)

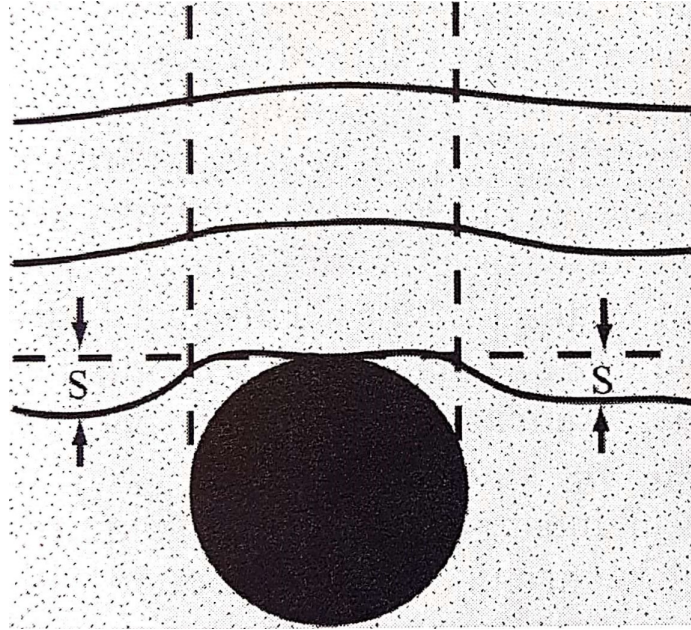
På 1980-talet kom det kurs for legging av VA-leidningar, ADK-kurs (anlegg, drift og kontroll). I 1989 kom forskrift om ADK-opplæring og ein fekk ADK-sertifikat. (Berg, 2017) Ved at utførande entreprenørar måtte gjennomføre kurs for å legge VA-leidningar, gjorde dette til at kvaliteten på grøftene auka.

1.3 Grøfteteknologi

For ei grøft som blir greven i dag har bransjen ein felles ambisjon om at røyra skal ha ei levetid på minst 100 år. For å bygge opp ei grøft av rett kvalitet er det fleire parametrar ein må ta omsyn til:

- 1. Røyrmateriale og røyrdimensjon:** Kva for eit røyrmateriale er best eigna med tanke på føremål, dimensjon og andre omstende?
- 2. Grøftetverrsnitt:** Kor mange røyr skal i grøfta, kva skal desse frakte og korleis skal desse plasserast? Avstandar i grøftetverrsnittet og vinklar på grøftesidene avheng av røyrmateriale, røyrdimensjon og grunnforhold.
- 3. Vegsona:** Er røyrgrøfta i vegsona må ein følgje krav frå vegmyndigheit. Ein må ta omsyn til at røyrret toler dei ekstra lastene frå vegen, og at vegen ikkje får deformasjonar grunna grøfta.
- 4. Grunnforhold:** Kva for massar er det alt på staden. Ein må kartlegge grunnvassnivået, fastheit på grunnen, avstand til fjell og frostfridjupn på staden. Alle desse faktorane kan påverke grøfteoppbygginga.
- 5. Materialval for omfyllingsmassar:** Kva for grøftemassar skal ein nytte i grøfta, og kva for massar er tilgjengleg og gjev grøfta den kvaliteten den skal ha?

Kapittel 1.3 og kapittel 1.4 tek for seg dei overnemnde parametrane ein må ta omsyn til ved oppbygging av ei grøft



Figur 1.3: Korleis setningane i jorda blir om ein har eit stivt røyr. I sidefyllinga vil jorda synke noko saman, medan det stive røyret vil halde på same form. Her representerer S kor mykje sidefyllinga vil sette seg. (Moser, 2001)

1.3.1 Ulike røyrmateriale - Stive eller fleksible røyr

Vatn- og avløpsrøyr blir hovudsakleg delt inn i to kategoriar ut frå kva type materiale røyret er laga av. Desse kategoriane er stive røyr og fleksible røyr.

Stive røyr

Stive røyr er sjølvberande konstruksjonar, og har dermed styrke til å tole laster frå jorda og vegen. Røyra er dimensjonert for å kunne bære desse lastene utan å vere særleg avhengig av at sidefylling er korrekt komprimert for å avlaste røyret (figur 1.3). Om røyret ligg under veg, kan vegoppbygginga kreve komprimering. Sidan desse røyra er ringstive, deformerast dei under to prosent i løpet av levetida (VA/Miljøblad nr.6, 2016). Stive røyr har god slagbestandigheit, men er mindre eigna i kurva trasear (tabell 1.1).

Vanlege materiale for stive røyr er ofte tyngre røyrmateriale, og krev ofte anleggsmaskiner for handtering i grøfta.

Vanlege materialval for stive røyr er:

- **Betong**

Betongrøyr er ringstive og sjølvberande. Derfor er det mindre krav til komprimering av sidefylling rundt desse røyra. Betong kan korrodere ved låg pH og korrosivt miljø. Betong blir i Noreg hovudsakleg nytta i avløpsrøyr. (VA/Miljøblad nr.14, 2018)

• Duktilt støypejern

Toler godt høgt vasstrykk, utvendige belastningar og endringar i temperatur. Har alltid eit korrosjonsbeskyttande belegg som hindrar røyret frå å korrodere/ruste. Ved riper og skader i dette laget kan det ruste hol i røyret. Blir mest nytta for drikkevatn og kraftproduksjon.(VA/Miljøblad nr.16, 2018)

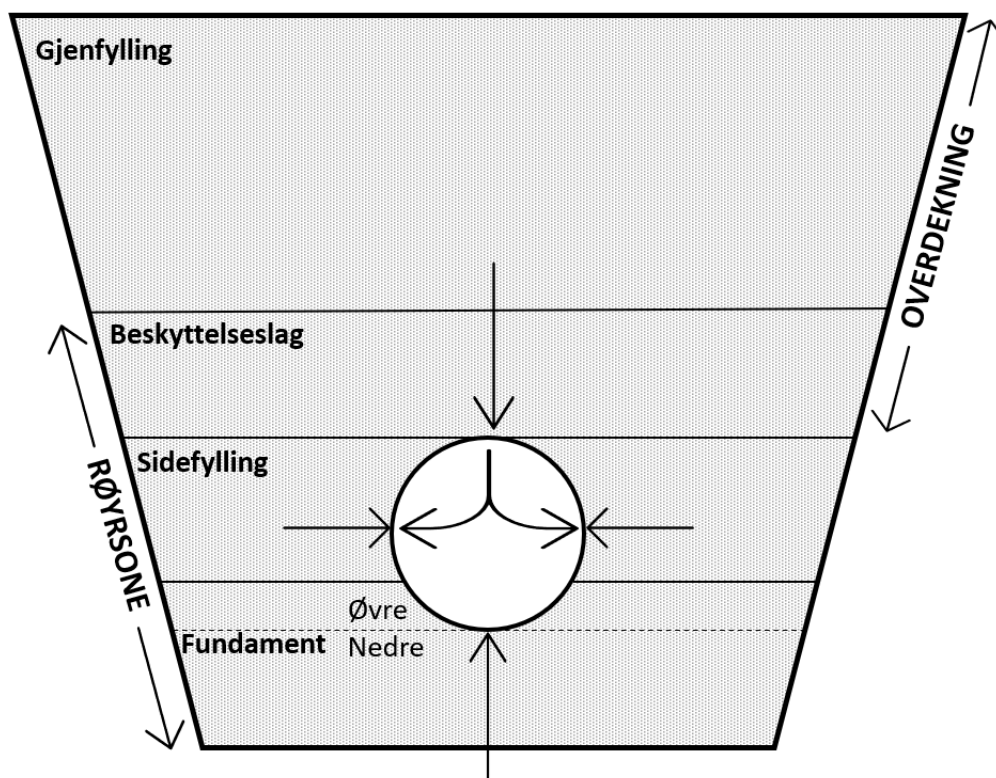
Tabell 1.1: Val av kva for eit stivt røymateriale som er mest eigna for gjevne forhold. Dette er ei overordna vurdering, ved ulike tiltak kan eit røymateriale bli meir eigna for det aktuelle forholdet.

Gjevne forhold	Duktilt støypejern	Betong
Blaute grunnforhold	Mykje godt eigna	Godt eigna
Store utvendige belastningar	Mykje godt eigna	Godt eigna
Ureina grunn	Godt eigna	Mindre eigna
Slagbestandigheit	Godt eigna	Godt eigna
Anleggsteknisk i tettbygd strøk	Mykje godt eigna	Godt eigna
Rystelsar og vibrasjonar	Godt eigna	Mindre eigna
Bratt terreng >15 grader	Kan nyttast	Ueigna
Kurva trase	Mindre eigna	Mindre eigna

Kjelde: VA/Miljøblad nr.30 (2010)

Fleksible røyr

Fleksible røyr er ikkje ringstive og har ikkje styrken til å halde trafikklastar og jordlastar, derfor er sidefylling og komprimering av fleksible røyr spesielt viktig. Desse røyra skal helst ha lik mekanisk kraftpåverknad frå alle sider av røyrterrsnittet (figur 1.4) (VA/Miljøblad nr.5, 2016). Dette er for å unngå at vertikale lastar vil presse røyret saman, og vidare gjev røyret ei elipseform. Rett komprimering av øvre fundament og sidefylling er avgjerande for å få til denne kraftfordelinga. Horisontale krefter vil då fungere på røyret, og motverke at røyret deformerar seg til ellipsoform.



Figur 1.4: Korleis laster frå jorda verkar på fleksible røyr. Det verkar både horisontale og vertikale krefter på røyr. Korrekt oppbyggnad av sidefylling er derfor viktig for å unngå deformering av røyr. Figur utforma etter inspirasjon frå Moser (2001).

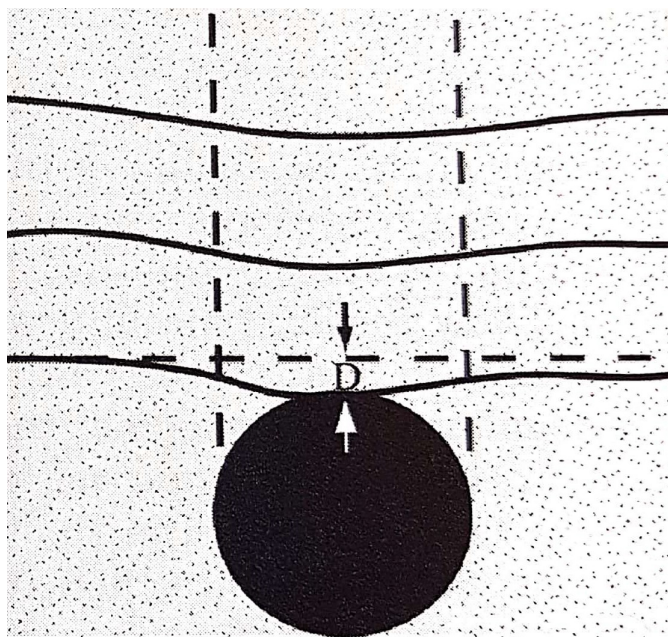
Fleksible røyr vil bli noko deformerte av jordlastene over tid (figur 1.5). For fleksible røyr er det derfor i VA/Miljøblad nr.5 (2016) sett egne krav til deformasjonar over visse tidsperiodar (tabell 1.2) .

Tabell 1.2: Maks deformasjon som er tillete for termoplastrøyr (PVC, PE, PP).

Tid frå legging	Normale krav	Reduserte krav
0 år	5 %	8 %
3 år	8 %	11 %
5 år	10 %	13 %

Kjelde: VA/Miljøblad nr.5 (2016)

Dei tre førstnemnde materiala under er av termoplast og har generelt låg ringstivheit, og er spesielt sårbare for punktlaster. Det er derfor viktig å ha god oppbyggnad og komprimering av sidefylling, slik ein får god sidestøtte. Termoplastrøyr er generelt lettare enn alternative materiale som betong og metall, og er lettare å handtere i grøfta. Elastisitetsmodulen (E-modulen) til termoplastrøyr avtek ved aukande temperatur og



Figur 1.5: Korleis jordlasta påverkar fleksible røyr, og korleis setningane i jorda blir. D representerar deformasjonen til det fleksible røynet. (Moser, 2001)

materialspenning, samt ved langvarig last. Ved riper eller sprekker er røyra sårbare for trykkstøyt. Det er PVC som er minst eigna for slagbestandighet, medan PE og PP er godt eigna (tabell 1.3). (VA/Miljøblad nr.5, 2016)

Vanlege materialval for fleksible røyr er:

- **Polyvinylklorid utan mjuknar (PVC-U)**

PVC-U er det mest nytta røyrmateriale for vatn- og avløpsleidningar i Noreg i dag. Det er det termopalsmaterialet med høgst E-modul. (VA/Miljøblad nr.10, 2019)

- **Polyetylen (PE)**

PE er ofte førsteval når det kjem til undersjøiske leidningar og i grøftefrie leidningsanlegg, også kjent som gravefrie (NoDigg) grøfter der ein slepp å anlegge ei grøft. Materialet er også brukt i tradisjonelle grøfter, og er brukt for drikkevatt, avløpsvatt og overvatt. PE har i tillegg høg temperaturutvidingsgrad ved temperatur endringar. (VA/Miljøblad nr.11, 2019)

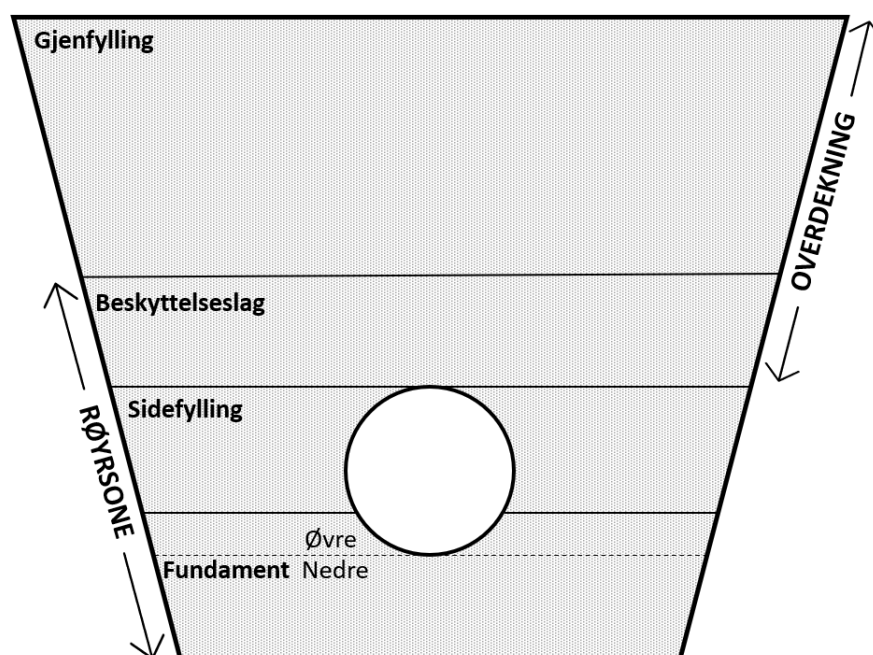
- **Polypropylen (PP)**

PP er hovudsakleg nytta i avløpsgrøfter. Dette er det termoplastmateriale som toler ei temperaturauke best, med tanke på utviding, samt det som toler slag best. (VA/Miljøblad nr.12, 2019)

Tabell 1.3: Val av kva for eit fleksibelt røyrmateriale som er mest eigna for gjevneforhold. Dette er ei overordna vurdering, ved ulike tiltak kan eit røyrmateriale bli meir eigna for det aktuelle forholdet.

Gjevne forhold	PVC	PE	PP
Blaute grunnforhald	Mindre eigna	Godt eigna	Godt eigna
Store utvendige belastningar	Mindre eigna	Godt eigna	Godt eigna
Ureina grunn	Mindre eigna	Mindre eigna	Mindre eigna
Slagbestandigheit	Mindre eigna	Mykje godt eigna	Mykje godt eigna
Anleggsteknisk i tettbygd strøk	Mykje godt eigna	Mindre eigna	Mykje godt eigna
Rystelsar og vibrasjonar	Godt eigna	Mykje godt eigna	Mykje godt eigna
Bratt terreng >15 grader	Mindre eigna	Mykje godt eigna	Mykje godt eigna
Kurva trase	Mindre eigna	Mykje godt eigna	Mykje godt eigna

Kjelde: VA/Miljøblad nr.30 (2010)



Figur 1.6: Oppbygging av ei røyrgrøft med eit røyr.

1.3.2 Grøftetverrsnittet

Det skiljast mellom røyrgrøfter med eitt og fleire røyr. Tverrsnitt med eit røyr er ofte djupare. Eit typisk grøftetverrsnitt for eitrøyrsgrofter er synt ved figur 1.6. Her er grøfta delt inn i ulike soner som har ulike funksjonar, desse er forklart i tabell 1.4. Fundamentet fungerer som berebjelken til røyrret. Videre har sidefylling og beskyttelseslag sine funksjonar når det kjem til å skjerme røyrret frå å bli deformert av lasta frå jordoverflata eller frå skadar av punktlast frå større steinar. (VA/Miljøblad nr.5, 2016)

Tabell 1.4: Kva for funksjonar dei ulike laga i ei røyrgrøft har.

Lag	Funksjon
Overdekning	Heile sona over røyret. Høgda på overdekninga er viktig med tanke på belastninga på røyret og frostfri djupn.
Gjenfylling	Sona mellom røyrsona og overflata. Høgda på denne kan variere med fleire meter ut frå lokale forhold.
Røyrsona	Omfattar laga som er i direkte kontakt med røyret.
Beskyttelseslag	Beskyttar røyret frå overliggande massar, særleg punktlaster.
Sidefylling	Sikrar at røyret oppnår tilstrekkeleg sidestøtte. Fungerar som fundament i fleirrøyrsgrofter for overliggande røyr.
Øvre fundament	Tilsvarar kvartsirkelstøtta for røyret.
Nedre fundament	Strengast krav til denne delen. Ved dårleg utføring kan det oppstå skadar på røyret.

Kjelde: VA/Miljøblad nr.5 (2016)

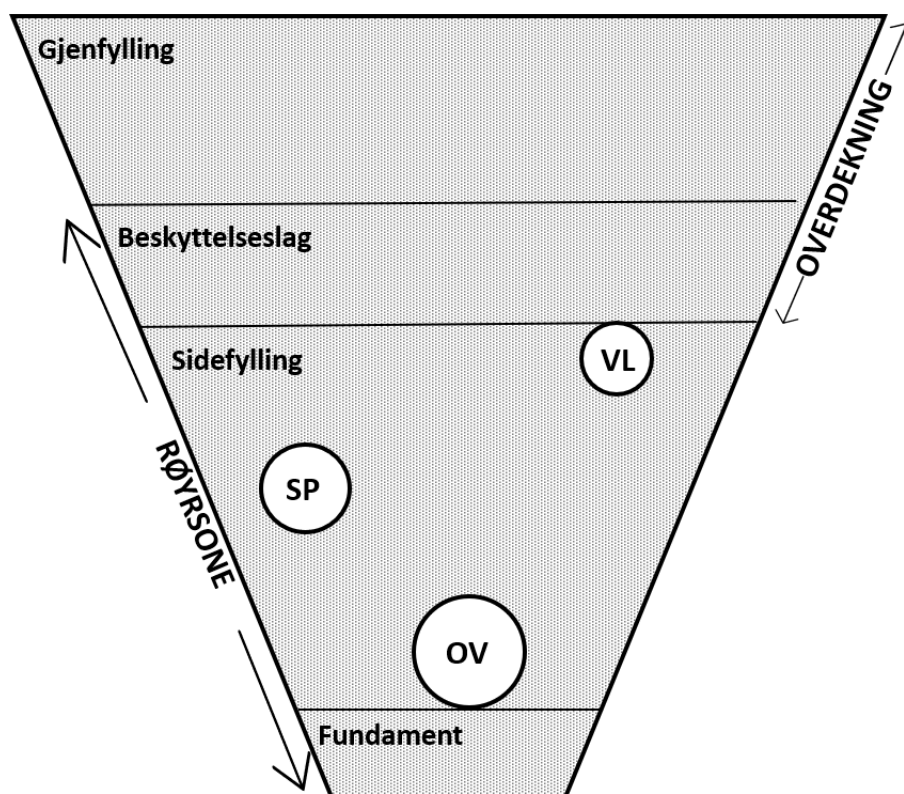
Tabell 1.5: Krav til avstandar i grøftesona. VA/Miljøblad og Norsk Standard har overlappende krav, det same gjeld for Basal si leggerettleiing. (Alle tal har millimeter som eining, med mindre anna er oppgjeve.)

Krav til utforming	VA/Miljøblad og Norsk standard	N200	R761	NPG	PAM
Høgde gjenfylling	støypejern: 300(800***) Andre: 500	plast: 600* Andre: 500*	-	0,6 – 10m	0,6 – 10m
Avstand mellom røyr og grøfteside DN ≤ 225	200	150	-	-	-
Avstand mellom røyr og grøfteside 225 < DN ≤ 350	250	-	-	-	-
Avstand mellom røyr og grøfteside 350 < DN ≤ 700	350	-	-	-	-
Avstand mellom røyr DN ≥ 350	200	-	-	-	-
Avstand mellom røyr 350 < DN ≤ 700	250	-	-	-	-
Vertikal avstand mellom røyr	150	-	-	-	-
Høgde beskyttelseslag	300	300 * Veldig fast grunn: 200 Fast grunn: 150	250	150** 100 – 150	200 Berggrøft med trafikklast > 300)
Høgde fundament DN < 400	150				
	Normale forhold: 200 Harde forhold: 300				
Høgde fundament 400 ≤ DN < 1200		-	-	-	-
Grøfteheling	-	-	Lausmasse: 2:1 Berggrøfter: 5:1	-	-

*Gjeld leidningar for overvatn og stikkleidningar, **Ved mykje store steinar i gjenfyllinga, burde tjuknaden auke, ***Under veg
Kjelde: VA/Miljøblad nr.5 (2016), VA/Miljøblad nr.6 (2016), VA/Miljøblad nr.16 (2018) og Norsk Standard (2019)
Standard Norge (2019), Statens vegvesen (2018, 2015a), NPG (2018) og PAM (2008)

For grøftetverrsnitt med fleire røyr er det ulike måtar ein kan plassere grøftene i røyrsona på. Normalt i dag er at drikkevassleidningen er plassert øvst, leidning for spillvatn i midten og overvassleidning nedst, som illustrert i figur 1.7 (VA/Miljøblad nr.5, 2016). Dette kjem av at ein skal unngå spillvatn i drikkevassnettet, og vidare unngå overvatn i spillvassnettet. Her må sidefylling komprimerast, for å fungerer som fundament for overliggende røyr. I ei heilskapleg analyse av tekniske, økonomiske, hygieniske og forureiningsmessige forhold gjennomført av Myhrstad (1985) var det ikkje dette tverrsnittet som kom best ut, men eit tverrsnitt der overvassleidningen og spillvassleidningar byter plass. I dag er det VA-normene til kommunane som avgjer kva for eit plan kvart røyr skal plasserast på.

Det er fleire ulike rettningslinjer for korleis ei grøft skal utformast, desse er samla i tabell 1.5. Stiftelsen VA/Miljøblad, stifta i 1996 av Norsk Vann og Norsk kommunalteknisk forening (NKF), har sine standardar kjent som VA/Miljøblad (VA-Miljøblad, 2020). Her er det VA/Miljøblad nr.5 Grøfteutførelse fleksible rør og VA/Miljøblad nr.6 Grøfteutførelse stive rør som har førande krav på korleis ei røyrgrøft skal byggast opp. VA/miljøblad sine krav er bygd på norsk standard NS 3420 Grunn- og terrengarbeider og NS 3070 Samordning av ledninger i grunnen - Del 1: Avstandskrav sine krav til utforming, og er derfor i same kollone i tabell 1.5. Dei ulike røyrprodusentane har sine eigne leggerettleiingar for gjevne røyrmateriale. NPG har laga ei leggerettleiing for plastrøyrindustrien.



Figur 1.7: Typisk oppbygning av ei fleirrøyrgrøft.

Basal har laga ei for sine betongrøyr, denne er jamfør VA/Miljøblad nr.6. Leggerettleiinga til Basal har ingen krav til lagtjuknad og avstandar mellom røyr, og er derfor ikkje med i tabellen. Duktilt støypejernsprodusenten PAM har laga leggerettleiing for deira produkt. Skal røyrgrøfta leggest under veg, må ein i tillegg forholde seg til handbøkene til Statens vegvesen: *Handbok N200 Vegbygging* og *Handbok R761 Prosesskode 1*. Desse standardane har mykje av dei same krava som VA/Miljøblad har til lagtjuknad.

Ut frå tabell 1.5 ser ein at det er lite som skil mellom dei ulike aktørane. NPG tillet noko tynnare fundament for plastrøyr, og PAM krev noko tjukkare fundament for duktile støypejernsrøyr.

Ved trafikk over røyret skal overdekninga aldri vere mindre enn tre gongar diameteren, og aldri mindre enn 0,5 meter for plastrøyr (VA/Miljøblad nr.5, 2016) og for betongrøyr (VA/Miljøblad nr.14, 2018). Duktile støypejern krev 300 millimeter utanom trafikklaster, og 800 millimeter under trafikklaster (VA/Miljøblad nr.16, 2018).

I leggerettleiinga til NPG (2018) skal ein kontakte røyrprodusent eller leverandør om overdekninga er mindre enn 0,6 meter og meir enn 10 meter. Dette er grunna belastninga denne overfyllinga har på røyret eller belastninga som kan komme av laster frå overflata. Den generelle VA-norma til Norsk Vann, som er grunnlag til VA-normene til kommunane, krev også dette.

Korleis forma på grøftetverrsnittet er utforma, avheng av om grøfta er i lausmassar eller sprengt ut frå fjell. Grøftesidene kan vere brattare i berggrøfter enn i lausmassegrøfter (Statens vegvesen, 2015a). Typisk i gater og urbane strøk med mindre plass kan ein ha rektangulært grøftetverrsnitt, ved hjelp av å nytte grøftekasse.

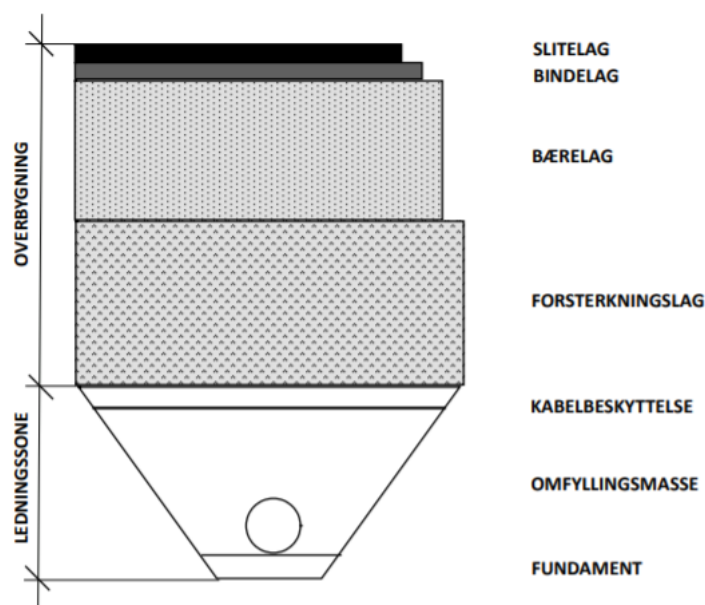
Ved graving av grøfter må ein forhalde seg til fleire forskrifter. Byggherreforskriften (2010) skildrar omsynet til helse, miljø og tryggleik ved anleggsarbeid. Forskrift om utførelse av arbeid (2011) tek for seg krav til planar, utføring av arbeid, krav til utstyr og tryggleik, som til dømes krav til rømmingsvegar i grøfta.

1.3.3 Røyrgrøfter under veg

Jamfør Veglova (1964) §32 skal vatn- og avløpsrøyr leggst minst tre meter frå veg. For å kunne legge leidningar nærare enn dette, typisk for gater og tettbygde område, må saksbehandling jamfør Forskrift om ledninger i offentlig veg (2013) følgjast, mellom vegmyndighet og leidningseigar. For å gjere prosessen lettare for begge partar har Samferdselsdepartementet utarbeidd *Veileder: Ledninger i veg*, som er ein vegleiar for riksveg, medan Statens vegvesen har utarbeidd *Veileder: Ledninger i kommunale veger*. Vegleiaren for riksveg kan nyttast for øvrige vegar, at ein kan legge denne vegleiaren til grunn for fylkesvegar (Samferdselsdepartementet, 2013).

Vegleiaren for ledningar i riksveg inneheld: Vegleiar til søknaden, administrative vilkår som må vere oppfylt og tekniske bestemmingar. Her er det også vist til at alt arbeid som inkluderer riksveg eller fylkesveg skal gjerast jamfør normalane og standardane til Statens vegvesen (Samferdselsdepartementet, 2013).

For kommunale vegar skal utførande ha god kjennskap til handbøkene til Statens vegvesen og vegnormalane og retningslinjene til kommunen (Statens vegvesen, 2015b). Vegleiaren illustrerer legging i veg jamfør figur 1.8. Her ser ein også korleis ei typisk vegoppbygging er med ulike lag i tverrsnittet. Røyrret ligg her i røyrsona under overbygninga av vegen.



Figur 1.8: Leidningssona si plassering under vegoverbygginga (Statens vegvesen, 2015b).

Vidare har Statens vegvesen eit utval av handbøker. Desse er delt inn i ulike nivå: Nivå ein er normalar (N) og retningslinjer (R), og nivå to som er vegleiarar (V). Norma-

lar og retningslinjer er godkjent av overordna myndighet eller av Vegdirektoratet etter fullmakt, medan vegleiarane er godkjente av aktuell avdeling som har fått fullmakt til godkjenning i Vegdirektoratet. Normalane har heimel i lova, og gjeld for alt offentleg vegnett og alle myndigheiter. Retningslinjene gjeld berre for Statens vegvesen og for riksvegar, og har heimel i lovverket eller ved vegdirektøren. Vegleiarane på nivå to utdjupar normalar og retningslinjer frå nivå ein. (Statens Vegvesen, 2019)

I handbok N200 stillast det ingen mekaniske krav til omfyllingsmassar i veg, men massane bør ha ein slik kvalitet at ved utføring og komprimering ikkje blir knust opp i mindre bitar. Røyret må heller ikkje ta skade av omfyllingsmassane. Ligg leidningen under veg, må massane heller ikkje vere telefarleg (Statens vegvesen, 2018).

1.3.4 Grunnen under og rundt grøfta

Jamfør Forskrift om utførelse av arbeid (2011) §21.2 må det for grøft djupare enn to meter gjerast grunnundersøkingar som forarbeid. Grunnen må undersøkast ned til ein meter under grøftebotn før ein set i gong gravearbeidet, og ha ein lengdeprofil med ei jordartskildring. Grunnvassnivå og djupna til fjell må også kartleggast. Ut frå dette kan ein planlegge utforminga av grøfta. (VA/Miljøblad nr.5, 2016) (VA/Miljøblad nr.6, 2016)

Frostfri djupn

For at røyr ikkje skal bli utsett for frost, må gjenfyllinga vere ned til frostfri djupn. Dette er ei djupn frå bakkenivå og ned i grunnen, og er berekna når det ikkje er eit isolerande lag med snø på overflata. Frostmengda (F) for kvar enkelt kommunesenter i Noreg finn ein i handbok N200 vedlegg 1. Her kan ein også velje kva frostmengd ein skal dimensjonere for, om den skal overskride kvart andre år eller kvart hunderede år. Massevalet og vassinnhaldet påverkar også kor djupt frosten går. I massar med mykje holrom, vil kald luft strøyme ned i massane og frostfri djupn vil auke. Tabell 1.6, henta frå Statens vegvesen (2010) handbok V220 Geoteknikk i vegbygging, oppgjev ulike faktorar ut frå masseval på kor langt frosten går ned i bakken.

Å ta omsyn til frostfri djupn er særleg viktig for telefarlege materiale. For at eit materiale skal vere telefarleg må det ha tilgjengeleg grunnvatn og store nok mengder frost. Dette aukar faren for at bereevna kan bli redusert i perioden når frosten smeltar. Det er også fare for telehiv og frostsprenging. Silt (tabell 1.8) er spesielt utsett for å trekke til seg vatn på kort tid, og blir derfor karakterisert som telefarleg. Siltinnhaldet til ein masse bestemmer derfor ofte om massen er telefarleg eller ikkje. Massar blir delt inn i telegrupper frå T1 til T4, ut frå prosentandel fintstoff i massane. (Aarhaug, 1984)

For å berekne frostfri djupn kan ein nytte likning 1.1, og vidare nytte verdiar frå tabell

1.6 og tabell 1.7. Her er det valt komponenten stein og derfor nytta $K_F = 1,4$. Vidare er det valt frostmengde som blir gjenteke kvar hundrede år.

$$z_F = K_F \cdot \sqrt{F} \quad (1.1)$$

z_F = Frostfri djupn [cm]

K_F = Frostdjupnfaktor ut frå gitt massetype

F = Frostmengd [$h^\circ C$]

Tabell 1.6: Berekna frostfri djupn for ulike byar i Noreg ved å nytte likning 1.1. $h^\circ C$ er dimensjonert for frostmengd som gjentek seg kvart 100 år.

Område	Frost mengd [$h^\circ C$]	Frostfri djupn [cm]
Oslo	21 000	203
Bergen og Stavanger	4 000	86
Trondheim	19 000	193
Tromsø	24 000	217
Lillehammer	43 000	290

Kjelde $h^\circ C$: Statens vegvesen (2018) vedlegg 1

Tabell 1.7: Frostdjupnfaktor for ulike massar.

Matereriale	Frostdjupn faktor (K_F)
Komponent stein (pukk, steinfylling, steinig grus)	1,4
Sand og grus (sandig grus, steinig morene)	1,0
Silt (siltig morene, sandig silt)	0,85
Leire og blandingsjord (leirhaldige moreneartar)	0,7
Torv	0,3

Kjelde: Statens vegvesen (2018)

Kor djupt den berekna frostfri djupna er, varierar for ulike stader i landet. Ut frå tabell 1.6 ser ein at det er store variasjonar. I Lillehammer er frostfridjupn 2,9 meter, medan i Bergen og Stavanger er djupna 0,86 meter.

Når ein ikkje har høve til å legge på frostfri djupn

Nokre stadar kan det vere lite eigna å grave til frostfri djupn, til dømes grunna fjell. Ved grunnare grøfter må ein framleis sikre at røyra ikkje blir utsett for frost. For å unngå dette kan ein nytte isolasjonsplater (figur 1.9) eller glasopor.



Figur 1.9: Røyrrøft med isolasjonsplater rundt røyret. Bilete frå Ringvegen, Vestby kommune. Foto: Inga Rise 2020

1.4 Materialval for omfyllingsmassar i røyrgrøfter

1.4.1 Kva er eit steinmateriale

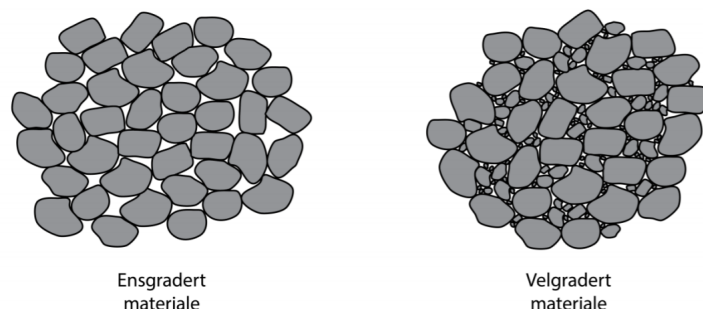
Ved val av materiale må ein vite kva materialet består av. Dette er hovudsakleg tre delar: stein, luft og vatn. Er delen med stein bytta ut med organisk materiale som plante- og dyrerestar blir massane omtalt som mold eller torv. Vidare skil ein mellom kornstorleiken materialet består av. (Aarhaug, 1984) Dei ulike fraksjonane er delt inn i den internasjonale inndeling som ofte blir nytta om naturlege materialer, og i korleis ein namngjev ulike fraksjonar av knust fjell (tabell 1.8). Jordartane blir også delt inn i korleis jorda heng saman. For friksjonsmassane sand og grus er det friksjon mellom korna som held massane på plass, medan kohesjonsjordarten leire heng saman ved hjelp av elektriske spenningar mellom korna. Silt og finsand er ein mellomjordart, og heng saman ved hjelp av begge desse eigenskapane. (Clausen, 1991)

Tabell 1.8: Dei ulike fraksjonsinndelingane som gjeld internasjonalt, og korleis knust fjell blir inndelt og namngjeven.

	Fraksjon	Kornstorleik
Internasjonal standard	Blokk	≥ 600
	Stein	600 - 60
	Grus	60 - 2
	Sand	2 - 0,06
	Silt	0,06 - 0,002
	Leir	$\leq 0,002$
Inndeling knust fjell	Pukk	4 - 32
	Grov pukk	32 - 120
	Subbus	0 - 63
	Kult	20 - 130
	Maskinsand	0 - 8

Kjelde internasjonal standard: Aarhaug (1984)

Kjelde inndeling knust fjell: Tønne (2019)



Figur 1.10: Forskjellen mellom einsgraderte og velgraderte massar. (Statens Vegvesen, 2014)

I materialvalet skiljast det mellom einsgraderte- og velgraderte massar (figur 1.10). Einsgraderte massar består av stein av omtrent same storleik, medan velgraderte massar består av stein med eit større spekter av storleikar. Fordelen med einsgraderte er at massen verkar drenerande og ikkje held på vatn, men kan vere vanskelegare å komprimere sidan korna kan vere ustabile og rulle mot kvarandre. Velgraderte massar er lettare å komprimere, sidan dei minste korna legg seg i holromma mellom dei større. Dette gjer også at velgraderte massar held betre på vatn. Styrken og utforminga av steinkorna spelar også ei viktig rolle. Kubiske korn vil krevje mindre energi til komprimering enn flate (flisige) korn. Runde gruskorn vil også vere lettare å komprimere enn sprengt stein, men sistnemnde vil oppnå høgast stivleik. (Statens Vegvesen, 2014)

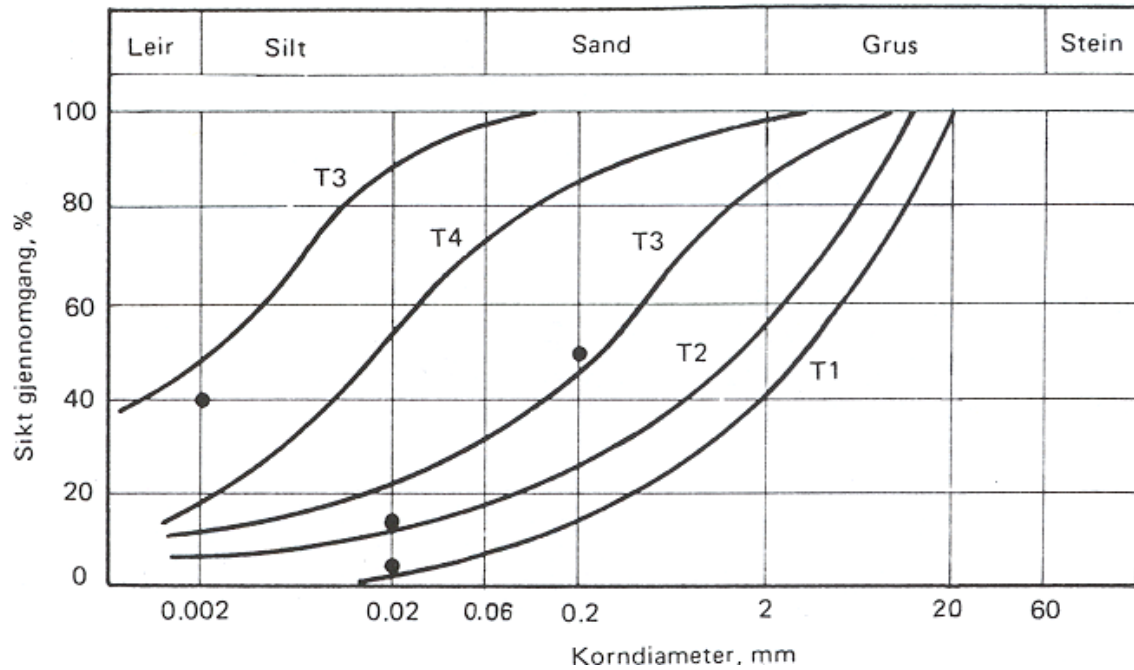
For å avgjere om eit materiale er einsgradert eller velgradert blir likning 1.2 nytta. c_u finn ein ved å først finne d_{60} og d_{10} . Dette gjer ein ved hjelp av siktkurva for materialet. Figur 1.11 syner ulike siktkurver for ulike jordgrupper (tabell 1.9). For å finne d_{60} nyttar ein y-aksen til siktkurva og ser kva for ein korndiameter som har 60 prosent gjennomgang av sikta, og kva for ein korndiameter som har 10 prosent gjennomgang av sikta. Om c_u er meir enn 8 er det ein velgradert masse, er c_u under 8 er det ein einsgradert masse. (Aarhaug, 1984)

$$c_u = d_{60}/d_{10} \quad (1.2)$$

c_u = Korngraderingstalet

d_{60} = Korndiameter for 60 prosent gjennomgang av sikta

d_{10} = Korndiameter for 10 prosent gjennomgang av sikta



Figur 1.11: Ulike siktekurver for ulike jordgrupper (sjå tabell 1.9) (Jernbanekompetanse.no, 2011).

Tabell 1.9: Inndeling av ulike jordgrupper etter materiale og kornstorleik.

Jordgruppe	Materiale	Kornstorleik [mm]
Gruppe 1	Grus, sand	$< 3 \% < 0,02$
Gruppe 2	Grus, sand, morene	$> 3 \% < 0,02$ $< 12 \% < 0,02$
Gruppe 3	Grus, sand, morene	$> 12 \% < 0,02$ $< 50 \% < 0,02$ $> 40 \% < 0,02$
Gruppe 4	Silt, leire, morene	$< 40 \% < 0,002$ $> 12 \% < 0,02$ $> 50 \% < 0,02$

Kjelde: Statens vegvesen (2010)

Det er egne krav til bestemte fraksjonar, der ein kan ha ein gjeven prosent med stein som er større eller mindre enn gitt siktestorleik. Dette er beskrevet i *NS-EN 13242 Tilslag for mekanisk stabiliserte og hydraulisk stabiliserte materialer til bruk i bygg- og anleggsarbeid og vegbygging*. Spesialrådgjevar Olav Ø. Berge forklarar i eit intervju at alle massar som er tilført byggeplassen har krav til CE-merking. Vidare forklarar Berge at om massane er sprengt ut og nytta innanfor grensene til anlegget, er massane unnateke CE-merking (Søderholm, 2016).

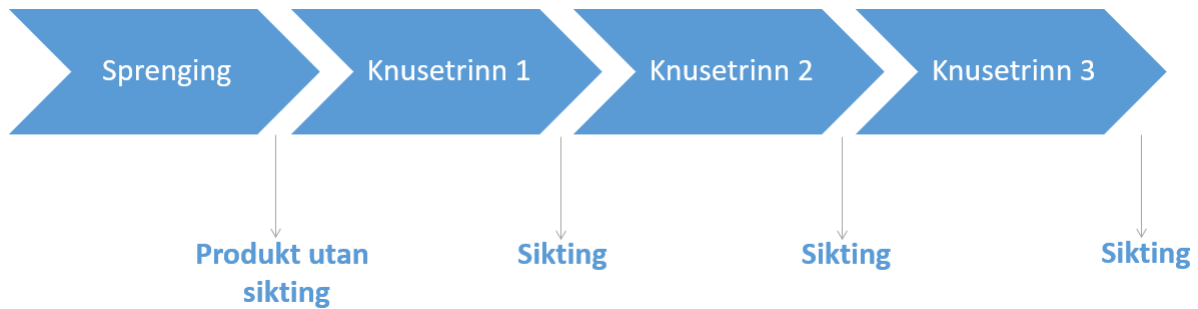
1.4.2 Produksjon av steinmateriale på pukkverk

Steinmateriale frå pukkverk opp til og med 90 millimeter har krav til CE-merking der det er harmonisert til standard: *NS-EN 13242 Tilslag for mekanisk stabiliserte og hydraulisk stabiliserte materialer til bruk i bygg- og anleggsarbeid og vegbygging*. Harmonisert standard er utarbeidd jamfør EUs byggevareforordning, dette inkluderar krav til dokumentasjon for at forordningens krav er oppfylt. Byggvareforordningen skal sørge for å sikre krav til tryggleik, helse og miljø. (Standard Norge, 2020) I Noreg blir det nytta mykje steinmateriale mellom 90 og 1000 millimeter, samanlikna med andre europeiske land, det er derfor utvikla ein eigen norsk standard: NS 3468:2019 Grove steinmaterialer til bruk i bygge- og anleggsarbeid. Denne er ikkje harmonisert, og stiller derfor ikkje krav til CE-merking. Fraksjonar over 90 millimeter skal ein også ha produktdeklarasjon. For fraksjonar under 90 millimeter stillast det krav til utarbeidelse av ytingserklæring. Direktoratet for byggkvalitet (2020) skildrar at erklæringa omfattar informasjon om:

1. *Produkttype*
2. *Vareidentifikasjon (type-, parti- eller serienummer).*
3. *Tiltenkt bruk av byggevaren.*
4. *Navn, registrert varemerke og adresse til produsenten.*
5. *Hvilket system for vurdering og kontroll ytelse er benytta.*
6. *Identifisering av sertifiserings- eller prøvingsorgan, dersom det er aktuelt.*
7. *Henvisning til den relevante harmoniserte produktstandarden eller til den europeiske tekniske vurderingen.*
8. *Byggvarens ytelse(r).*

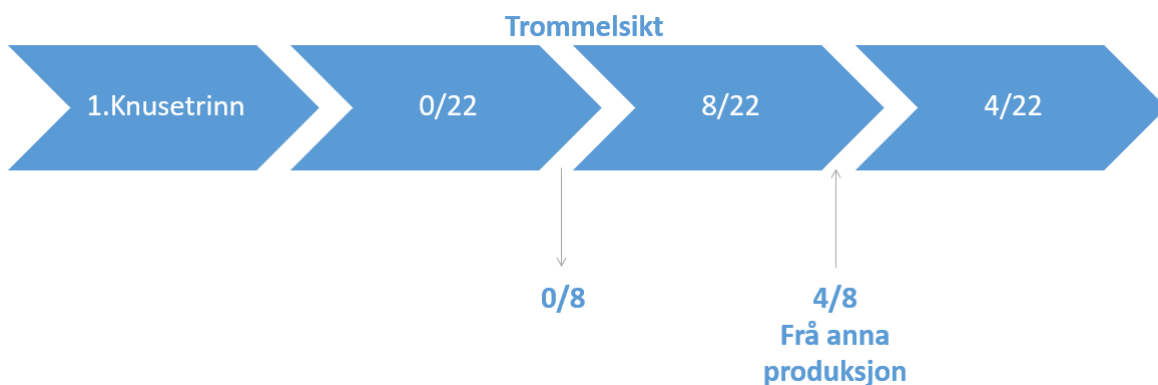
Knust stein produserast på knuseverk, som kan anten vere mobilt eller stasjonært. Mobile knuseverk går ofte på diesel, medan dei stasjonære kan vere tilnærma heilelektriske. I samband med denne masteroppgåva er det gjennomført ein synfaring på Steinskogen pukkverk (vedlegg B).

Første steg i produksjonen er å sprengje ut stein frå fjell. Herfra kan nokre fraksjonar bli sikta ut, medan resten går vidare til neste knusetrinn (figur 1.12).



Figur 1.12: Enkelt flytskjema for generell produksjon på pukkverk.

Ved Solum pukkverk på Holmestrand starta dei hausten 2015 på eit prøveprosjekt med produksjon av 4/22 i produksjonen. Eit forenkla prosesstre (figur 1.13) viser at dei får subbus (0/22), og skil ut 0/8 frå 8/16 ved hjelp av trommelsikt. Deretter blir 4/8 blandet inn i 8/22. Fraksjon 4/8 er overskot frå ein anna produksjon. Andelen over 16 millimeter er innafor grensa til å kategorisere fraksjonen som 4/16. (Bruserud, 2020)



Figur 1.13: Flytskjema for produksjon av 4/16 ved Solum pukkverk, Holmestrand.

1.4.3 Krav til omfyllingsmateriale i røyrgrøfter

I samband med dette prosjektet er det gjennomført ei spørjeundersøking (vedlegg A) til eit utval kommunar. Kommunane er geografisk spreidde, har ulik storleik både i areal og i folketal. Det kjem fram av av spørjeundersøkinga kva fraksjonar kommunen nyttar i røyrgrøfter (tabell 1.10). Til bakgrunn for val av desse fraksjonane er det tilråringa frå Norsk Vann, transportavstandar, tilgjenge av massar, råd frå konsulentar og krav frå røyrprodusent som kommunane svarar. Denne spørjeundersøkinga gjev ikkje eit heilskapleg bilete på korleis praksisen er i Noreg i dag, men gjev eit visst inntrykk.

Tabell 1.10: Steinmassar utvalde kommunar som deltok i spørjeundersøkinga, nytta som omfyllingsmasse i røyrgrøfter. Svara gjeld grøfter med eit røyr og fleire røyr.

Kommune	Nytta fraksjon i røyrgrøfter
Rana	4/22
Tromsø	8/22
Trondheim	4/16
Drammen	4/16
Aurskog-Høland	8/16
Ringsaker	8/16
Kristiansand	8/16
Sunnfjord	8/16

Krav frå NS 3420- F: 2019 *Beskrivelsestekster for bygg, anlegg og installasjoner - Del F: Grunnarbeider - Del 1* (tabell 1.11) er grunnlag for anbefalingane i VA/Miljøblad nr.5 og VA/Miljøblad nr.6 (tabell 1.12). Alle desse tilrår vidare å fylgje leggerettleiarane til røyrprodusentane eller ta kontakt med desse om ein treng meir informasjon.

Betongrøyrprodusenten Basal har sine krav til omfyllingsmassar (tabell 1.14) som svarar med VA/Miljøblad nr.6. Det same gjer leggerettleiinga til duktil støypejernsrøyrprodusent PAM (tabell 1.15), med unntak at PAM krev noko finare massar i sidefylling og beskyttelseslag for knust stein.

For Statens vegvesen handbok N200 (tabell 1.16) og handbok R761 (tabell 1.17) er det noko avvik mellom desse i sidefylling og beskyttelseslag. Dette kjem av at N200 berre tek omsyn til overvass- og drenerør.

Alle dei gjenmgåtte rettleiarane er opne for å nytte stadlege massar, gjeven at krav til

Tabell 1.11: Største tillatte kornstorleik for massar jamfør standard NS 3420 Grunn- og terrengarbeider. (Alle tal har millimeter som eining)

Røyrmateriale	Fundament		Sidefylling / Beskyttelseslag	
	Velgraderte	Einsgraderte	Velgraderte	Einsgraderte
Termoplastrøyr DN $\leq$ 300	16	16	-	-
Termoplastrøyr DN $>$ 300	22	22	-	-
Betong DN $<$ 400	32	22	64	64
Betong DN $\geq$ 400	53	32	120	120
Duktilt støypjern	32	22	32	22

Kjelde: Norsk Standard (2019)

Tabell 1.12: Største tillatte kornstorleik for omfyllingsmassar VA/Miljøblad nr.5 Grøfteutførelse fleksible rør og nr. 6 Grøfteutførelse stive rør. (Alle tal har millimeter som eining)

Røyrmateriale	Fundament		Sidefylling / Beskyttelseslag	
	Velgraderte	Einsgraderte	Velgraderte	Einsgraderte
Termoplastrøyr DN $<$ 300	16	16	16	16
Termoplastrøyr 300 $<$ DN $<$ 600	22	22	32	22
Termoplastrøyr 600 $\leq$ DN	22	22	40	32
Betong DN $<$ 400	32	22	64	64
Betong $\geq$ 400	53	32	120	120
Duktilt støypjern	32	22	32	32

Kjelde for termoplastrøyr: VA/Miljøblad nr.5 (2016)

Kjelde for stive rør: VA/Miljøblad nr.6 (2016)

Tabell 1.13: Største tillatte kornstorleik for omfyllingsmassar for røyr av termoplast. Jamfør leggerettleiaren til plastrøyrprodusentane, NPG. (Alle tal har millimeter som eining)

Røyrmateriale	Fundament		Sidefylling / Beskyttelseslag	
	Velgraderte	Einsgraderte	Velgraderte	Einsgraderte
Trykkrøyr DN < 300	22	22	22	22
Trykkrøyr $300 \leq \text{DN} \leq 600$	22	22	32	22
Trykkrøyr DN ≥ 600	22	22	40	32
Sjølvsfallsrøyr DN ≤ 250	22	22	22	22
Sjølvsfallsrøyr $300 \leq \text{DN} \leq 500$	22	22	32	22
Sjølvsfallsrøyr DN ≥ 600	22	22	63	53

Kjelde: NPG (2018)

Tabell 1.14: Største tillatte kornstorleik for omfyllingsmassar frå leggerettleiaren til røyrprodusenten Basal. (Alle tal har millimeter som eining)

Røyrmateriale	Fundament		Sidefylling / Beskyttelseslag	
	Velgraderte	Einsgraderte	Velgraderte	Einsgraderte
DN < 400	32	22	64	64
DN ≥ 400	53	32	120	120

Kjelde: BASAL (2017)

Tabell 1.15: Største tillatte kornstorleik for omfyllingsmassar frå leggerettleiaren til røyrprodusenten PAM. (Alle tal har millimeter som eining)
Tiltatt steinstorleik gjennom sikta: Rundkorna: 63 mm Knust stein: 32 mm.

Røyrmateriale	Fundament		Sidefylling / Beskyttelseslag	
	Rundkorna	Knust stein	Rundkorna	Knust stein
Duktilt støypejern	32	22	32	22

Kjelde: PAM (2008)

Tabell 1.16: Største tillatte kornstorleik for omfyllingsmassar i røyrsona jamfør Statens vegvesen handbok N200 Vegbygging. (Alle tal har millimeter som eining)

Røyrmateriale	Fundament		Sidefylling / Beskyttelseslag	
	Velgraderte	Einsgraderte	Velgraderte	Einsgraderte
Termoplastrøyr DN $\leq$ 300	22	22	22*	22*
Termoplastrøyr 300 < DN $\leq$ 600	32	32	32*	32*
Termoplastrøyr DN > 600	32	32	63*	63*
Betong DN < 400	32	22	63*	63*
Betong DN $\geq$ 400	63	32	120*	120*
Duktilt støypjern	32	22	32*	32*

*Gjeld overvassrøyr og stikkleidningar.

Kjelde: Statens vegvesen (2018)

Tabell 1.17: Største tillatte kornstorleik for omfyllingsmassari røyrsona jamfør Statens vegvesen handbok R761 Prosesskode 1. (Alle tal har millimeter som eining)

Røyrmateriale	Fundament		Sidefylling / Beskyttelseslag	
	Velgraderte	Einsgraderte	Velgraderte	Einsgraderte
Termoplastrøyr DN < 300	22	22	16	16
Termoplastrøyr 300 $\geq$ DN < 600	32	32	22	22
Termoplastrøyr DN > 600	32	32	32	32
Betong DN < 400	32	22	63	63
Betong DN $\geq$ 400	53	32	120	120
Duktilt støypjern	32	22	32	22

Kjelde: Statens vegvesen (2015a)

massane blir overhalde. Ved å nytte stadlege massar må ein grave opp massane, sortere desse, for deretter å legge dei ned igjen i grøfta og komprimere. Dette er for å unngå førekomstar av større stein som kan gje punktbelastning. VA/Miljøblad nr.5 og nr. 6 tilrår ikkje stadlege massar under veg og plassar.

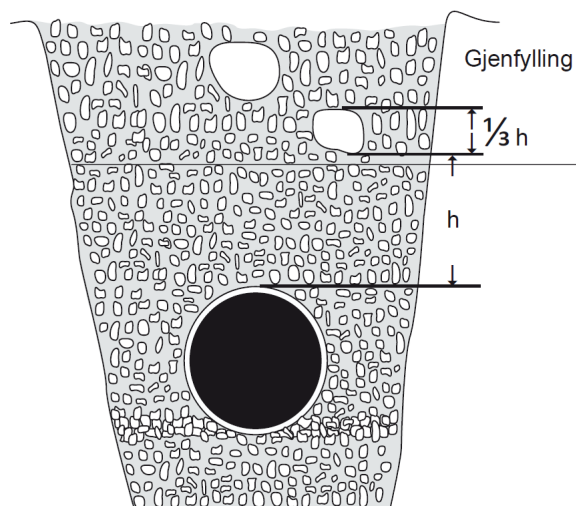
Tabell 1.18: Krav til største kornstorleik for gjenfyllinga i røyrgrøfter.

Kjelde	Krav tverrmål stein	Tilleggskrav ved komprimering
NS 3420	-	0,5 meter
VA/Miljøblad nr.5	0,5 meter samt krava til NPG	2/3 av lagtjuknaden
VA/Miljøblad nr.6	0,5 meter	2/3 av lagtjuknaden
Basal	0,3 meter	2/3 av lagtjuknaden
NPG	1/3 av avstand frå topp røyr til stein	2/3 av lagtjuknaden
Pam	Usorterte massar	-
N200	0,3 meter	2/3 av lagtjuknaden
R761	0,3 meter	2/3 av lagtjuknaden

Kjelde: Norsk Standard (2019), VA/Miljøblad nr.5 (2016) og VA/Miljøblad nr.6 (2016)

Kjelde: BASAL (2017), NPG (2018), PAM (2008) og Statens vegvesen (2018, 2015a)

For massar i gjenfyllinga til røyrgrøfter (tabell 1.18) er kravet til største steinstorleik ved komprimering at storleiken ikkje skal vere meir enn 2/3 av lagtjuknaden, med unntak av NS 3420 som har krav til maks steinstorleik 0,5 meter. Vidare har plastrøyrprodusentane det strengaste kravet til tverrmål, ved at denne ikkje skal overstige 1/3 av storleiken til avstanden ned til røyret ved utlegging (figur 1.14). Statens vegvesen oppgjev også i sine handbøker at største steinstorleik skal ikkje overgå 300 millimeter, og korn med diameter 100 millimeter skal ligge jamnt spreidt i gjenfyllinga. Vidare seie R761 at gjenfyllinga skal, om ikkje anna er oppgjeve, bestå av komprimerbare stadlege massar. VA/Miljøblad nr.5 og nr.6 tillet stein med tverrmål opptil 500 millimeter, men tilrår å nytte stein mindre enn 300 millimeter nærme beskyttelseslaget.



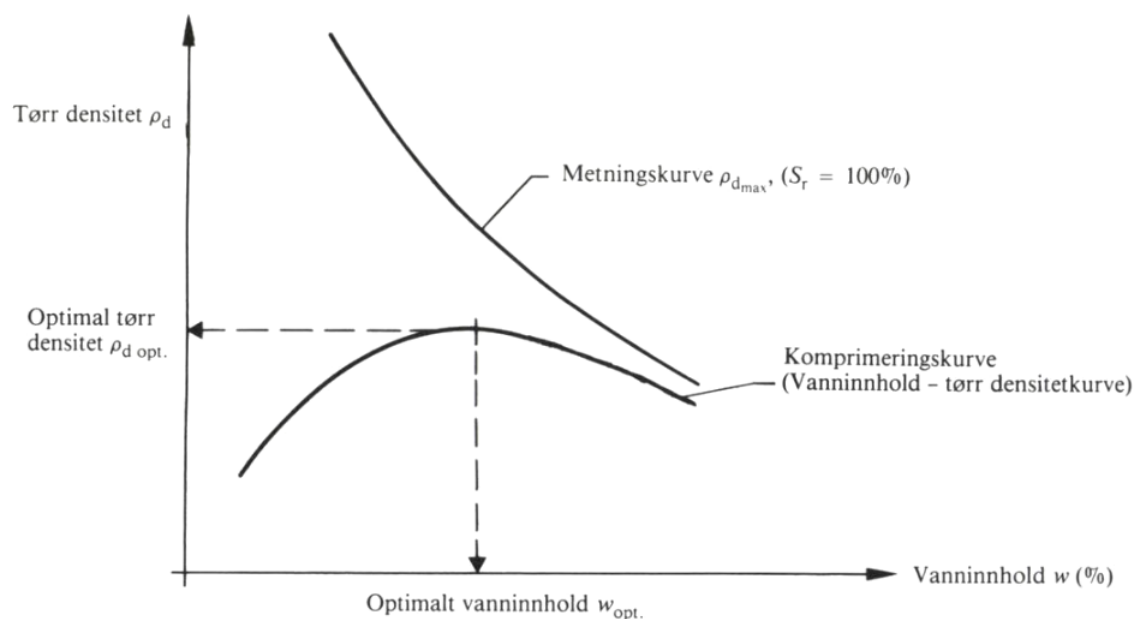
Figur 1.14: Plastrøyrprodusentane sitt krav til største kornstorleik i gjenfyllinga. (NPG, 2018)

For røyrgrøfter er det ingen krav til flisigheit til omfyllingsmassane, medan massar nytta i veg er det krav til flisigheit i dekketilslaget og berelaget. Flisighetsindeks (FI) for materiale med fraksjon 4/80, bestemmast jamfør *NS-EN 933-3 Prøvningsmetoder for geometriske eigenskaper for tilslag - Del 3: Bestemmelse av kornform - Flisighetsindeks*. Standarden seier at først skal massane siktast gjennom kvadratiske opningar, for deretter siktast gjennom stavsikter, jamfør Statens vegvesen (2018) (Vedlegg 3). Nokre kommunar har krav til flisigheit for pukken som er nytta i røyrsona, til dømes Bærum kommune som har sett denne til maks 35 prosent i si VA-norm (Bærum kommune, 2020). Massar med høg flisigheit er mindre ideelle å komprimere.

I fleirrøyrgrøfter med røyr av ulik leidningsmateriale, skal det veljast massar som passar alle røyrtypepane (Statens vegvesen, 2015a). Her er det dermed røyret med strengast krav til omfyllingsmassar som er styrande i grøfta.

1.4.4 Komprimering av omfyllingsmassar

Komprimering av lausmassar gjerast for å oppnå høgare styrke for massen, ved å redusere holrom og ved å gjere massen tettast mogleg. Styrken som blir oppnådd gjer at massen kan halde laster frå konstruksjonar. Ved komprimering er det vanleg å tilsette vatn. Ved optimalt vassinnhald, får ein optimal tettleiken. Vatn gjer at korna lettare glir til posisjonen som gjev høgast tettleik. Blir dette overstege og det blir for mykje vatn i massane, vil vatnet føre til at massane utvidar holromma, massane glir frå kvarandre og dermed får ein lågare tettleik (figur 1.15). Forholdet mellom vassinnhald og tørr densitet, tettleiken til massen ved tørr tilstand, blir bestemt av Standard Proctor test. Denne blir utført jamfør Statens vegvesen handbok *R210 Laboratorieundersøkelse*. Grafen (figur

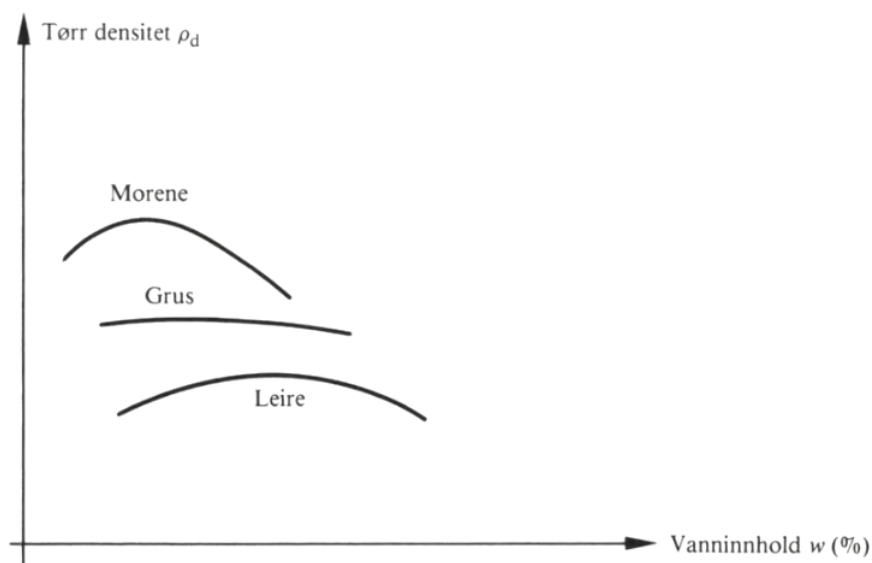


Figur 1.15: Forholdet mellom tørr densitet og vanninnhold for ein gjeven jordart og eit gjeven komprimeringsarbeid. (Aarhaug, 1984) Figur 1.32

1.15) framstiller Standard Proctor-kurva, som ein kan få ved å utføre fleire testar med varierende vanninnhald. (Aarhaug, 1984)

Det er skilnad for ulike jordartar kor mykje dei kan komprimerast. Morene er ein masse som inneheld både større og mindre fraksjonar. Ved komprimering vil dei små korna fylle holromma for dei større, og ein kan få ein tett masse. For grus er korna meir av same storleik, dette gjer at det ikkje er mindre korn som kan tett holromma. Dette gjer at tørrdensiteten til grus ikkje kan bli like høg som for morene (Figur 1.16). (Aarhaug, 1984)

Fundamentet i røyrgrøfter skal komprimerast til 95 prosent Standar Proctor (tabell 1.19) (VA/Miljøblad nr.5, 2000). Her er det ulikt kva største lagtjuknad ein kan oppnå etter komprimering for ulike jordgrupper (tabell 1.9). Komprimeringsutstyr for fleksible røyr skal ikkje vege meir enn 60 kilogram (VA/Miljøblad nr.5, 2016), og for stiverøyr ikkje meir enn 100 kilogram (VA/Miljøblad nr.6, 2016). For at røyrret skal bli best mogleg ver- na om i grøfta, skal ein tredjedel av fundamentet lausgjerast etter komprimering. Dette vil gjere at lastene på røyrret blir jamnare fordelt, ein unngår punktblasting og førebyg- ger mot skade på røyra. For sidefylling og beskyttelseslag skal det ikkje bli komprimert rett over røyrret. Det må også forsikrast om at røyrret ligg i ro under komprimeringa, og ikkje kjem ut av stilling. Skal terrenget tilbakestillast til før ein starta gravearbeidet, må gjenfyllinga lagvis komprimerast. Dette gjerast for å unngå setningar på overflata. (VA/Miljøblad nr.5, 2016)



Figur 1.16: Korleis ulike komprimeringskurver for ulike jordartar kan sjå ut. (Aarhaug, 1984) Figur 1.33

Tabell 1.19: Lagtjukknadar som er anbefalt for å oppnå 95 prosent Standard Proctor for ein overfart. Jordgruppe: sjå tabell 1.9

Komprimeringsutstyr		Minste tjukknad over røyr før komprimering [meter]	Største lagtjukknad etter komprimering [meter]	
Type	Minste vekt [kilogram]		Jordgruppe 1	Jordgruppe 4
Fot- eller handstamper	15	0,20	0,15	0,10
Vibrerande stamper	70	0,30	0,30	0,15
Platevibrator	50	0,15	0,10	-
	100	0,15	0,15	-
	200	0,20	0,20	-
	400	0,30	0,30	0,10
	600	0,50	0,50	0,15

Kjelde: VA/Miljøblad nr.5 (2000)

1.5 Kvifor det er viktig med eit berekraftsfokus for omfyllingsmassar i røyrgrøfter

1.5.1 FNs berekraftsmål

FNs berekraftsmål er utforma for fleire føremål, eit av dei er å stoppe klimaendringane fram mot 2030, og skal fungere som eit samla mål verda skal jobbe mot. Både mål 9 og mål 12 er relevant for meir berekraftige omfyllingsmassar. (FN-sambandet, 2019)

Berekraftsmål 9: Industri, innovasjon og infrastruktur

Berekraftsmål 9 omfattar at ein innan 2030 skal ha ein berekraftig infrastruktur og meir effektiv bruk av ressursane. Det er derfor viktig å legge grøfter som er tilnærma evigvarande og utnytte pukkressursane på ein effektiv måte. (FN-sambandet, 2019) Ved legging av nye røyr i dag, er intensjonen at røyrgrøfta skal vare i hundre år før ein treng å grave opp grøfta på nytt.

Berekraftsmål 12: Ansvarleg forbruk og produksjon

Dette berekraftsmålet omfattar at ein innan 2030 skal ha oppnådd ein «berekraftig forvaltning og effektiv bruk av naturressursar» (FN-sambandet, 2019). Det vil seie at ein i størst mogleg grad burde unngå å deponere massar og utvinne nye, og heller sjå på gjenbrukspotensialet.

1.5.2 Levetid pukkressursar i Noreg i dag

I dag er det vanleg på anlegg å grave opp eksisterande massar, transportere desse vekk, for så å transportere nye masser til grøfta. Transport av byggeråstoff utgjør 20 prosent av Noregs lastebiltransport. Kvart år blir omlag 19 millionar tonn tunnelmasse dumpa. Her er det stort potensiale til å utnytte overskotsmassane lokalt ved betre planlegging, i staden for å stadig utvinne nye naturressursar. (Rise mfl., 2019)

Tradisjonelle omfyllingsmassar som pukk er tekne ut frå fast fjell. Desse blir først sprengt ut, deretter knust og sikta i ein eller fleire omgangar til ønsket kvalitet er oppnådd. (Dahlstrøm, 2015)

Jamfør NGU sine analyser over pukkressursane i Noreg frå 2016 hadde pukkressursane ei samla levetid på 118 år (tabell 1.20). Dette vil seie at med dagens forbruk av pukk vil pukkressursane vare i 118 år til. Levetida for dei ulike fylka har store variasjonar, Oslo har til dømes 34 år, medan Sogn og Fjordane har 414 år. Går eit fylke tom for ressursen, vil det dermed vere avhengig av transport av pukk frå andre fylke. Forbruk av ressursar

på denne måten er ikkje berekraftig for framtidige generasjonar, ein må derfor sette eit større fokus på berekraft for omfyllingsmassar og gjenbruk av ressursar. (Eyolf Erichsen mfl., 2016)

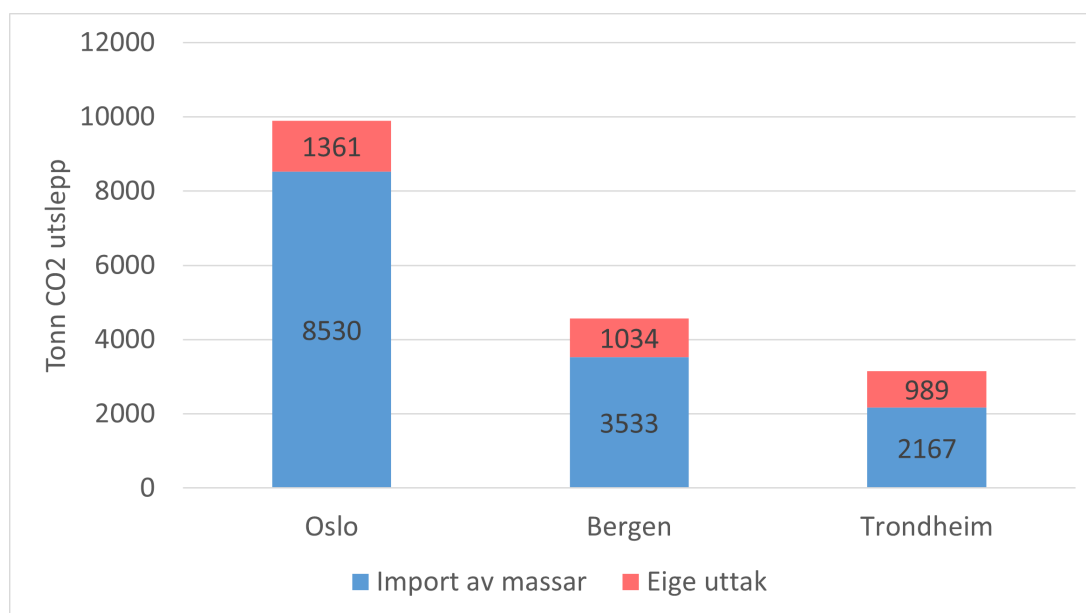
Tabell 1.20: Levetid for pukkressursar for utvalde fylker og samanlagt i Noreg.

Område	Ressursvolum [millionar tonn]	Levetid [år]
Oslo	20	34
Hordaland	202	56
Sør-Trøndelag	155	43
Troms	94	119
Sogn og Fjordane	2 681	414
Noreg	7 283	118

Kjelde: Eyolf Erichsen mfl. (2016)

1.5.3 Transport av pukkressursar

Gjennomsnittleg transportavstand for byggemateriala grus og pukk var 18 kilometer i 2016. Lange transportavstandar for steinmassar er størst i område med stor tettleik i busetnaden, dette gjeld spesielt rundt dei større byane Oslo, Bergen og Trondheim (figur 1.17). Aukande folketal og medfølgande aukande utbygging gjev eit stort forbruk av steinmateriale i desse områda. Utvinning av steinmassar fører med seg støy og støv, dette er ikkje noko ein ynskjer å ha i nærleiken av bustadområda. Dermed blir fraktavstandane for steinmassar for desse områda lange. Oslo, Bergen og Trondheim har klart meir utslepp ved import av massar, enn ved uttak av eigne massar. (Erichsen, 2019)



Figur 1.17: Utslepp av tonn CO₂ for transport av steinmateriale for Oslo, Bergen og Trondheim. Syner utslepp frå eige uttak og ved import av massar i 2010. Tal henta frå Erichsen (2019).

I spørjeundersøkinga utført i samband med dette prosjektet oppgav utvalde kommunar (tabell 1.21) transportavstandar mellom 7 og 28 kilometer.

Tabell 1.21: Transportavstandar for steinmassar frå pukkverk for utvalde kommunar som deltok i spørjeundersøkinga i samband med dette prosjektet.

Kommune	Transportavstand for steinmassar frå pukkverk [kilometer]
Rana	7
Kristiansand	10
Trondheim	10
Aurskog-Høland	10
Drammen	28
Ringsaker	10
Tromsø	7
Sunnfjord	12,5

1.6 Kva er LCA

LCA (Life Cycle Assessment) er på norsk kjent som livsløpsvurdering eller livsløpsanalyse. Dette er ein metode som systematisk tek for seg heile livsløpet til eit produkt og vurderar korleis miljøet og ressursar blir påverka. Livsløpet inneber alt frå produksjon av råmateriale til produktet si levetid er over, også omtala som frå «vogge til grav». Nokre gonger reknar ein resirkulering av produktet og livsløpet er ferdig når produktet er gjenvunne og klar til eit nytt livsløp, kjent som «frå vogge til vogge». (lca.no, 2019)

LCA utarbeidast etter standardane i ISO 14000 serien. Det er særleg to ISO-standardar ein må følgje ved utføring av LCA.

- *ISO 14040 Principles and Framework*: Vurderer prinsippa og rammene for LCA
- *ISO 14044 Requirements and Guidelines*: Spesifiserer krava og retningslinjene for å gjennomføre en LCA-studie

LCA har eit allsidig bruksområde, og kan nyttast for dei aller fleste produkt og tenester. Det kan nyttast til å kartlegge fasar i livsløpet til eit produkt som har forbettringsmoglegheiter, og vidare prioritere forbetringar for produktet eller prosessen med omsyn på miljøet. LCA kan også nyttast som grunnlag for standardisering av berekningar og identifisering av viktige ytingsindikatorar brukt i bedrifter for livssyklusleing og støtte til avgjersletaking.

Livssyklusanalysen består av fire overordna steg jamfør standard NS-EN ISO 14044: Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Krav og retningslinjer:

1. Definisjon av kva som er målet med analysen, samt kor stort omfanget skal vere.
2. Utarbeide ein modell av livssyklusen til produktet, med alle miljø inn- og utdata.
3. Få ei forståing av miljørelevansen til alle miljø inn- og utgangar. Dette er kjent som livssykluspåverkingsevurdering (LCIA – Life cycle impact assessment.)
4. Tolking av studien.

Funksjonell eining

Funksjonell eining skal spegle funksjonen til produktet, og omfatte heile levetida frå vogge til grav. Dette er for å ha eit haldepunkt gjennom analysen, og ha eit utgangspunkt når resultatet presenterast (Stiftelsen Østfoldforskning, 2002). Dette er til dømes miljøpåverknadane for ei gjeven grøftelengde for ei gjeven levetid.

Systemgrenser

Den vanlegaste måten å definere systemgrenser på er å skissere opp eit prosessstre som syner gangen i livsløpet steg for steg, inkludert transportetappar. Her er det vanleg å neglisjere steg som har til dømes mindre enn ein prosent påverknad på massestrøymen. (Stiftelsen Østfoldforskning, 2002)

Definering av systemgrenser må gjerast for at rekneskapen til analysane skal bli mest mogleg korrekt. Dette inneber kva type utslepp ein skal ta omsyn til og kor detaljert ein skal vere. Her er det viktig med grunngjeving om nokre prosessar i syklusen sløyfast, eller spesifisere om nokre steg har vagt datagrunnlag. Alle forutsetningar og begrensingar av studien må dokumenterast. Her kan ein også gjere ei følsomheitsanalyse ved å justere føresetnadane noko, og vurder effekten av dette. (Stiftelsen Østfoldforskning, 2002)

1.6.1 Miljødeklarasjon (EPD)

Med grunnlag i ei LCA kan ein utforme ein Environmental Product Declaration (EPD), på norsk kjent som miljødeklarasjon, for å framstille miljøpåverkandane til eit produkt på ein måte som er lett å forstå og lett å samanlikne. I Noreg blir dette ofte omtala som miljødeklarasjon. Ein EPD blir utforma i henhold til standarden *ISO 14025 Environmental Labels and Declarations Type III*. Dette gjer at alle miljødeklarasjonar blir eit dokument som på ein bestemt måte framstiller miljøprofilen til eit produkt, og som er enkel å samanlikne med andre produkt. Ein kan vidare legge saman ulike miljødeklarasjonar for å få eit heilskapeleg bilete av miljøpåverknadane til dømes for eit bygg. (lca.no, 2020a)

Ein EPD tek for seg ulike fasar og steg i livsløpet (tabell 1.22). Først er det produksjonsstadiet og installasjon av produktet. Vidare er det brukarstadiet, og tilslutt kva som skjer etter endt livsløp. Ut i frå kva produkt eller teneste ein vil analysere, kan ein velje kva steg som er relevante og kva for nokre ein kan sløyfe.

Resultata i miljødeklarasjonen blir oppgjeven i ulike tabellar. Desse tabellane tek for seg:

- Miljøpåverknadane er delt inn i ulike påverknadskategoriar som har ulike einingar (tabell 1.23).
- Ressursforbruket presenterar fornybare energiressursar til energiføremål og som råvare, ikkje-fornybare energiressursar, gjenvunne materiale, fornybart og ikkje-fornybart avfall og vassforbruk.
- Avfall delt inn i farleg og ikkje-farleg avfall, samt radioaktivt avfall.

Tabell 1.22: Standardsteg for eit livsløp i ein EPD.

Livsløpsfase	Steg	Kva steget omhandlar
Produksjon	A1	Råmateriale
	A2	Transport
	A3	Produksjon
Installasjons steg av konstruksjon	A4	Transport
	A5	Montering/anlegging
Brukarfasen	B1	Bruk
	B2	Vedlikehald
	B3	Reparering
	B4	Utsifting
	B5	Oppgradering
	B6	Energiforbruk
	B7	Vassforbruk
Sluttfasen av livsløpet	C1	Riving av konstruksjon
	C2	Transport
	C3	Avfallshandtering
	C4	Til deponi
Utover systemgrensene	D	Potensial for gjenbruk, gjenoppretting og resirkulering

Tabell 1.23: Miljøpåverknad frå LCA-analyse som også blir oppgjeven i EPD.

Miljøpåverknad	Forkorting	Utslepp
Potensiale for global oppvarming	GWP	Karbondioksid, Metan, Lystgass
Nedbryting av ozonlaget	OPD	Klor, Brom
Fotokjemisk oksidasjon	POCP	Reaksjon mellom organiske stoff og nitrogenoksider
Forsuring Nitrogenoksider	AP	Svoveldioksid, Ammoniakk,
Potensiell eutrofiering	EP	Fosfat, Fosfor, Nitrogen
Forbruk fossile energiresursar	ADPE	
Forbruk av mineraler	ADPM	

Kjelde: lca.no (2020b)

- Utgåande strøymar er komponent til gjenbruk, materiale til gjenvinning og energigjenvinning og levert varme og energi.

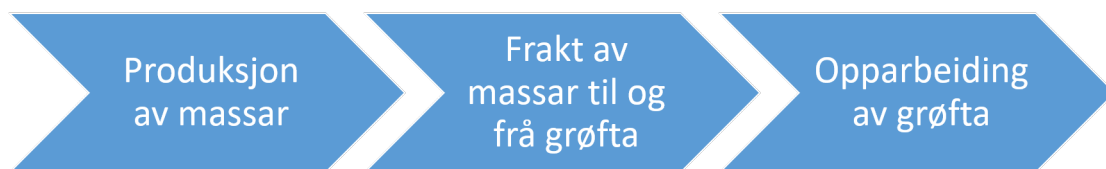
2. Metode

I dette kapitlet er den nytta metoden for denne studien presentert. Korleis det først er kartlagt informasjon som nyttast til grunnlag for analysa, og deretter korleis analysa er gjennomført.

2.1 Kartlegging

2.1.1 Systemgrenser

Prosesstreet (figur 2.1) viser ei forenkla framstilling av stega i livsløpet til grøftemassane, som det er sett på i livsløpsanalysa. I analysa er det ikkje inkludert kva som skjer med massane etter endt livsløp om 100 år, det er berre sett på miljøpåverknaden ved etablering av nye grøfter. I prosesstreet vil produksjon av massar omfatte uttak frå fjell og vidare ulike knusetrinn på pukkverk. Frakt av massar består av både frakt til anlegg og køyring av massar frå anlegg til deponi. Opparbeiding av sjølve grøfta er dieselforbruket til anleggsmaskinene som opparbeidar grøftetverrsnittet. Det er ikkje sett på miljøpåverknaden av sjølve røymaterialet.



Figur 2.1: Forenkla prosesstre for livsløpet til grøftemassane.

2.1.2 Funksjonell eining

Før ein kan gjennomføre analysa må det definerast ei funksjonell eining. Denne analysa har fleire funksjonelle einingar. Felles for alle er at dei er eit grøftetverrsnitt med lengde ein meter, som er utforma jamfør aktuelle kjelder til krav og anbefalingar til korleis ei røyrgrøft skal utformast. Lengda ein meter er sett for å enkelt finne miljøpåverknaden til lengre grøfter. Prosentvis skilnad mellom ulike alternativ vil vere den same.

Som grunnlag for å definere funksjonell eining er følgande informasjonskjelder blitt gjennomgått:

- Standard Norge sine standardar
- VA/Miljøblad
- VA-normer
- Forskrifter
- Handbøkene til Statens vegvesen
- Leggerettliing frå ulike røyrprodusentar
- Samtale med røyrprodusentar

Dei ulike funksjonelle einingane som er utforma for denne analysa, representerar ulike typar røyrgrøfter. For eitrøyrgrøfter er det utforma ei eining for røyr med dimensjon 300 millimeter og ei for 600 millimeter. Medan for fleirrøyrgrøfter er eininga utforma som ei grøft som omfattar røyrdimensjon 100, 200 og 300 millimeter.

Eit grøftetverrsnitt kan variere i utforming etter tilhøva, det er derfor sett på grøfter med ulike vinklar på grøftesidene og ulike leggedjupner, fordi dette i stor grad påverkar naudsynt volum av grøftemassar. Vidare er det sett på ulike miljøpåverknadar for bruk av ulike typar massar og ulike transportavstandar. Variablane i tabell 2.1 er gjennomgått for både eitrøyrgrøfter og fleirrøyrgrøfter. Alle dei nytta grøftemassane er einsgraderte massar.

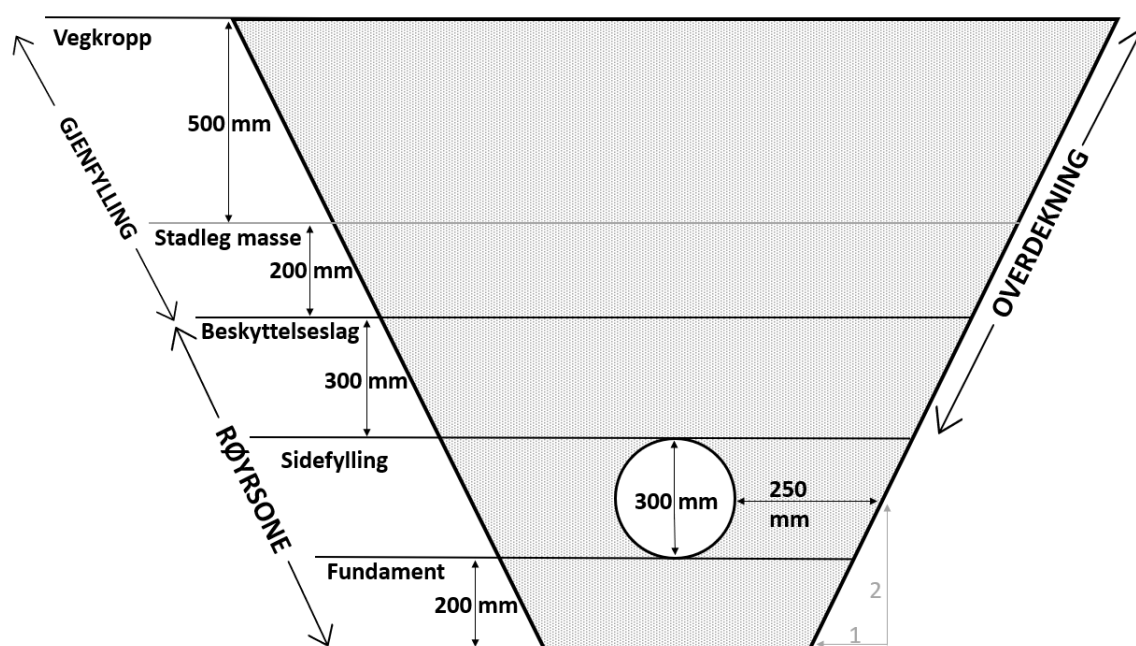
Grøftetverrsnitta som er lagt til grunn for analysearbeidet, er prøvd utforma, med tanke på avstandar i røyrsona, til å vere mest mogleg nøytralt med omsyn til røyrmateriale. Røyrmateriale med strengast krav har blitt styrande. Ved val av steinmateriale i røyrsona kan betong ha større fraksjonar enn termoplast og støypejern, dette er teken omsyn til i analysa.

Tabell 2.1: Variablar som er lagt til grunn for analysearbeidet.

Variabel	Kva som varierar	Del av livsløpet
Type masse	8/16, 4/22, 16/32, 22/63, 20/120 stadlege massar	Produksjon av steinmassar
Transportavstand	10 km, 30 km, 50 km 100 km	Transport
Overdekking	1 m, 3 m, 5 m, 10 m	Utføring
Grøftevinkel	2:1, 4:1, 1:1	Produksjon av steinmassar, transport og utføring

Funksjonell eining for eitrørgrøfter med røyrdimensjon 300 millimeter

For eitrørgrøfter med røyrdimensjon 300 millimeter (figur 2.2) vil det bli sett på ulike massar i røyrsona (tabell 2.2). For betongrør kan ein nytte kornstorleik opp til 63 millimeter i sidefylling og i beskyttelseslag, her er det derfor valt å nytte 22/63 i sidefylling og beskyttelseslag og 4/22 i fundamentet. Dette er for å unngå finstoff i røyrsona. Ved bruk av stadlege massar i røyrsona utanom veg, kan nokre plassar framleis krevje pukk i fundamentet. Det er undersøkt ulike overfyllingsdjupner og transportavstandar.



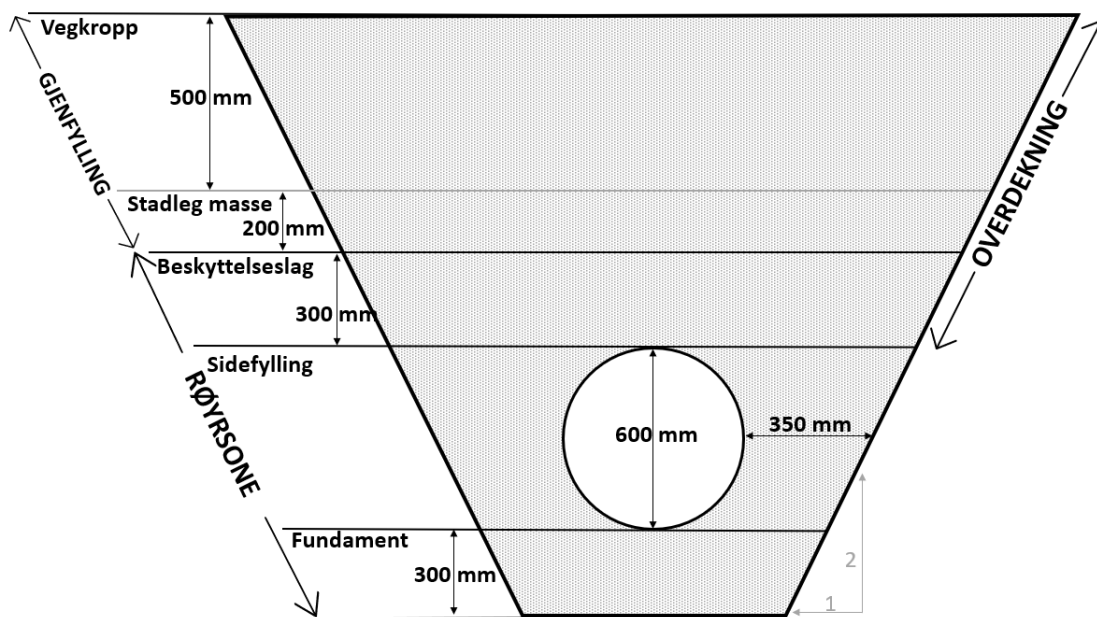
Figur 2.2: Utgangspunkt for analyse til eitrørgrøfter med røyrdiameter 300 millimeter. Rørstorleik og mål i røyrsona er likt for alle variablar av grøfta, med unntak av grøfthelling og gjenfylling.

Tabell 2.2: Analyserte fraksjonar for eitrøyrgrøft med tverrsnitt 300 millimeter.

Knusetrinn for massar i røyrsona	Fundament	Sidefylling/beskyttelseslag
Stadlege massar	Stadlege massar	Stadlege massar
Stadlege massar og knusetrinn 2	4/22	Stadlege massar
Knusetrinn 2 og 1	4/22	32/64
Knusetrinn 2	4/22	4/22
Knusetrinn 4	8/16	8/16

Funksjonell eining for eitrøyrgrøfter med røyrdimensjon 600 millimeter

Grøftetverrsnittet for røyrdimensjon 600 millimeter som er blitt lagt til grunn for analysen er vist i figur 2.3. Det er undersøkt miljøpåverknaden for massar med fraksjonane 8/16 og 4/22 i heile røyrsona (tabell 2.3). For betongrøyr er det i tillegg undersøkt eit massealternativ med maks 32 millimeter kornstorleik i fundamentet, og 120 millimeter i sidefylling og beskyttelseslag. Vidare er det for duktile støypejernsrøyr og termoplastrøyr valt 4/22 i fundamentet og 16/32 i sidefylling og beskyttelseslag. Utanom veg vil miljøpåverknaden bli undersøkt ved å nytte massar frå knusetrinn 2 i røyrsona, stadlege massar i røyrsona og ein kombinasjon med 4/22 i fundamentet og stadlege massar i det resterande grøftetverrsnittet.



Figur 2.3: Utgangspunkt for analyse til eitrøyrgrøfter med røyrdiameter 600 millimeter. Røyrstorleik og mål i røyrsona er likt for alle variablar av grøfta, med unntak av grøftehelling og gjenfylling.

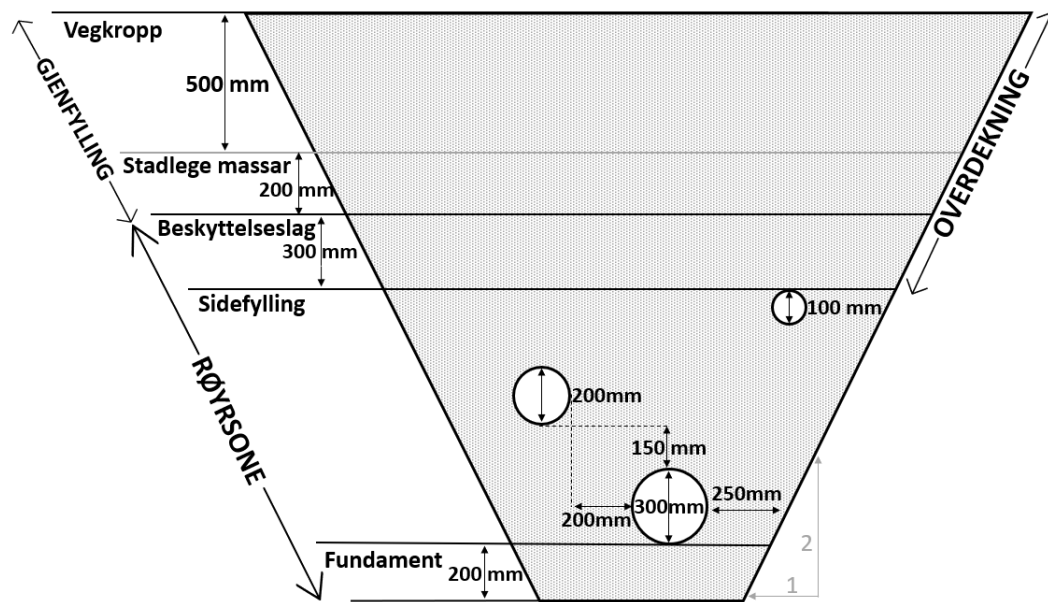
Tabell 2.3: Analyserte fraksjonar for eitrøyrsgroft med tverrsnitt 600 millimeter

Knusetrinn for massar i røyrsona	Fundament	Sidefylling/beskyttelseslag
Stadlege massar	Stadlege massar	Stadlege massar
Stadlege massar og knusetrinn 2	4/22	Stadlege massar
Knusetrinn 2 og 1	16/32	20/120
Knusetrinn 2	4/22	4/22 og 16/32
Knusetrinn 4	8/16	8/16

Funksjonell eining for fleirrøyrsgrofter med røyrdimensjon 100, 200 og 300 millimeter.

For fleirrøyrsgrofter (figur 2.4) må ein halde seg innanfor krava til massar for alle røyrmateriala som er i grøfta. I denne analysa er betongrøyr nedst i tverrsnittet, og duktilt støypejern og termoplastrøyr er øvrige røyr. Sidefyllinga vil også fungere som fundament for overliggande røyr, og må derfor forholde seg til krav til massar for fundament. Dette gjev maks steinstorleik for sidefylling og beskyttelseslag på 22 millimeter. Ved bruk av stadlege massar vil det nokre stadar krevje pukke i fundamentet, dette er derfor inkludert i analysa (tabell 2.4).

For fleirrøyrsgrofter er det sett på miljøpåverknaden for å nytte massar med fraksjonane 8/16, 4/22 under veg. Utanom veg er det undersøkt massane 4/22 i røyrsona, stadlege massar i røyrsona og 4/22 i fundamentet og stadlege massar i resten av grøfta. Miljøpåverknaden er også undersøkt for ulike gjenfyllingshøgder og transportavstandar.



Figur 2.4: Utgangspunkt for analysa til fleirrøyrsgrofter. Røyrstorleik og mål i røyrsona er likt for alle variablar av grøfta, med unntak av grøftehelling og gjenfylling.

Tabell 2.4: Analyserte fraksjonar for fleirrøyrsgrofter.

Knusetrinn for massar i røyrsona	Fundament	Sidefylling/beskyttelseslag
Stadlege massar	Stadlege massar	Stadlege massar
Stadlege massar og knusetrinn 2	4/22	Stadlege massar
Knusetrinn 2	4/22	4/22
Knusetrinn 4	8/16	8/16

2.2 Datagrunnlag og gjennomføring

Det vil i denne analysa bli sett på miljøpåverknadane om ein klarar å redusere tal knusetrinn, kontra kva spesifikke massar ein nyttar, og vidare samanlikne dette med bruk av stadlege massar. Det er også sett på miljøpåverknad frå transport og utføring.

For å gjennomføre analysa er EPD-generatoren til lca.no nytta. Med denne kan ein generere fleire miljødeklarasjonar og samanlikne desse ved hjelp av ein analysefunksjon. I denne studien er det ikkje generert fullverdige miljødeklarasjonar, men blitt generert eit datagrunnlag til å utføre ei analyse. I generatoren kan ein velje kva steg frå tabell 1.22 ein vil inkludere frå kapittel 1.6.1 Miljødeklarasjon (EPD). I denne analysa er det berre teke med steg A5. Dette kjem av at generatoren tek utgangspunkt i livsløpet til sjølve røyret. Det er steg A5 som omfatta montering og grøftearbeid som er aktuelt for livsløpet til omfyllingsmassane, samt inkluderar produksjon av steinmassar og transport av massar. Alle dei andre stega i livsløpet for røyret er sløyfa, fordi det er miljøpåverknadane til omfyllingsmassane som skal analyserast, og ikkje miljøpåverknadane til dei ulike røyrmaterial. I sjølve bruksfasen har ikkje grøfta noko miljøpåverknad, sidan det ligg i ro i grøfta. Etter røyret har blitt nytta til sitt føremål i ei livstid, er det er usikkert kva praksis det er om 100 år, og kva miljøpåverknad dette gjev, derfor er dette steget sløyfa.

Tabell 2.5: Kvar dataen for dei ulike stega i livsløpet er henta frå.

Fase av livsløpet	Datagrunnlaget er henta frå
Transport	Ecoinvent 3.4, Prosessnamn: Transport, freight lorry, adjustable (16-32t, diesel, EURO6) RER, Cut-off, Capacity utility 38,81 prosent
Grøfteoppbygging	Erfaringstall frå Asplan Viak. EPD frå Pipelife: NEPD-1507-513-NO
Produksjon av massar	EPD frå Hedrum Pukkverk: NEPD-2301-1045-NO

Datagrunnlaget (tabell 2.5) for transport er henta frå Ecoinvent, som er ei ideell forening med ein stor database av prosessdata for ulike produkt (Ecoinvent, 2020). EURO-koden deklarerer kva for ein utsleppsklasse transportmiddelet høyrer til. For utføring av sjølve grøftearbeidet er det nytta erfaringstal frå Asplan Viak, som er framstilt i ein miljødeklarasjon Pipelife har utvikla. Datagrunnlaget for pukk er valt tilfeldig. I dag er det fleire pukkverk som har laga miljødeklarasjon for eigen produksjon. I forkant av analysearbeidet er desse gjennomgått, og kartlagt kor mange knusetrinn dei ulike fraksjonane treng på dei ulike pukkverka (tabell 2.6). Velgraderte massar som berre treng eit knusetrinn,

er massar som 22/120. Medan meir einsgraderte massar treng fleire knusetrinn, til dømes 8/11 som ofte treng tre knusetrinn. Ingen av dei gjennomgatte pukkverka produserar i dag spesikt fraksjonen 4/22.

Tabell 2.6: Tal på knusetrinn ulike knuseverk har for ulike fraksjonar.

Pukkverk	8/11	8/16	4/16	8/22	22/63	22/120	16/32
Hedum, Larvik	3	4	2		2		
Tjølling	3				1/2	1/2	1/2
Hage-Vesterhaug, Elverum	2	2					2
Svingen, Halden	2				2		2
Rudshøgda, Ringsaker		2			1		2
Gullkista, Sortland	2	2		2	1	1	
Granerud, Nord-Odal	2	2	2	2	1/2	1	2
Velde pukk, Sandnes	3		2		2	2	0
Folbergåsen, Nes	2	2	2	2	1	1	2
Bjønndalen bruk, Nittedal	3	2/3	2/3	3	2/3	1/2	2/3
Feiring bruk, Lørenskog	3	2/3	2/3	3	2/3		
Bondkall, Oslo	3	3	2		2	1	3
Steinskog, Bærum	3	2	2		2	1	
Skanska, Sverige	3	3			2		2

Det er tilfeldig valt eit pukkverk å hente miljøpåverknadsdata for dei ulike knusetrinna frå. Dette blei Hedrum pukkverk i Larvik. Det er vidare teke utgangspunkt i tabell 2.6, og funne kva knusetrinn dei ulike fraksjonane som skal undersøkast i denne analysa krev. Kva fraksjonar og kva knusetrinn som blir nytta er presentert i tabell 2.7. Her er det gjort nokre tilnærmingar, sidan ingen av pukkverka produserarar 4/22.

Tabell 2.7: Fraksjonar frå Hedrum pukkverk som er nytta i analysa, med tilhøyrande knusetrinn.

Representert fraksjon	Knusetrinn eller tilnærma knusetrinn
Pukk 8/16	4
Pukk 4/22	2
Pukk 16/32	2
Pukk 32/64	1
Kult 22/120	1

For å importere data for gjeven grøftetverrsnitt inn i generatoren, er det nytta eit rekneark som Basal og lca.no har utvikla (vedlegg D). Ved å nytte dette kan ein generere miljøpåverknadane for kvart enkelt tverrsnitt. Reknearket bereknar kor mange kilogram masse det krevst av dei ulike fraksjonane, der det er teke omsyn til tettleiken til fraksjonen både ved utføring og massetransport. Reknearket bereknar forbruk av drivstoff for transport, montering av røyr, komprimering av massar, etterarbeid og drivstoff til gravemaskina.

I dette reknearket skriv ein inn informasjon om:

- **Røyret:** Røyr diameter og tverrsnittsareal
- **Grøfta:** Grøftehelling, grøftehøgde, høgde på vegoppbygging og grøftelengde.
- **Nedre fundament:** Type massar, høgde, breidde og transportavstand
- **Sidefylling:** Type massar, høgde og transportavstand
- **Beskyttelseslag:** Type massar, høgde og transportavstand
- **Gjenfylling:** Type massar, høgde og transportavstand

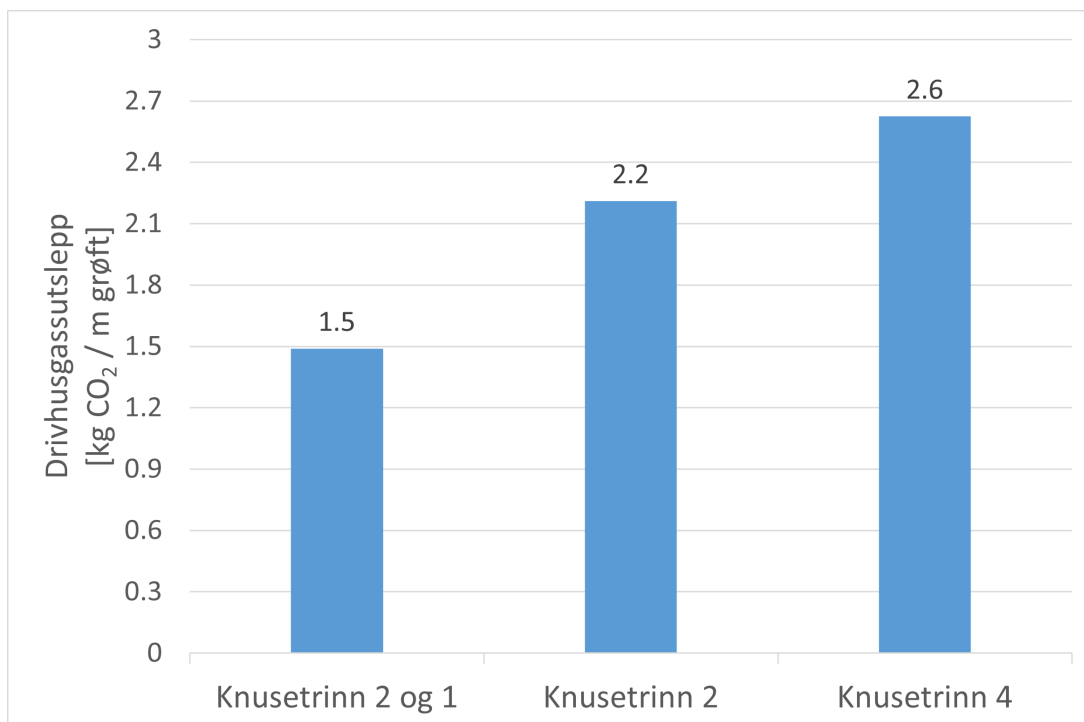
3. Resultat

I dette kapitlet blir resultata frå analysa framstilt. Her vil differansen i miljøpåverknad for dei ulike variablane bli framstilt i ulike søylediagram. Stega i livsløpet er produksjon av steinmassar, transport og grøfteutføring. Alle resultat er for ei grøftlengde på ein meter. Resultata for røyrgrøfter utanom veg er den samla miljøpåverknaden for transport, utføring og produksjon av massar presentert under eitt. Det same gjeld ved analyse av ulike grøftevinklar. Det er for produksjon av pukk, transport og grøfteutføring presentert resultat for kvart enkelt av desse.

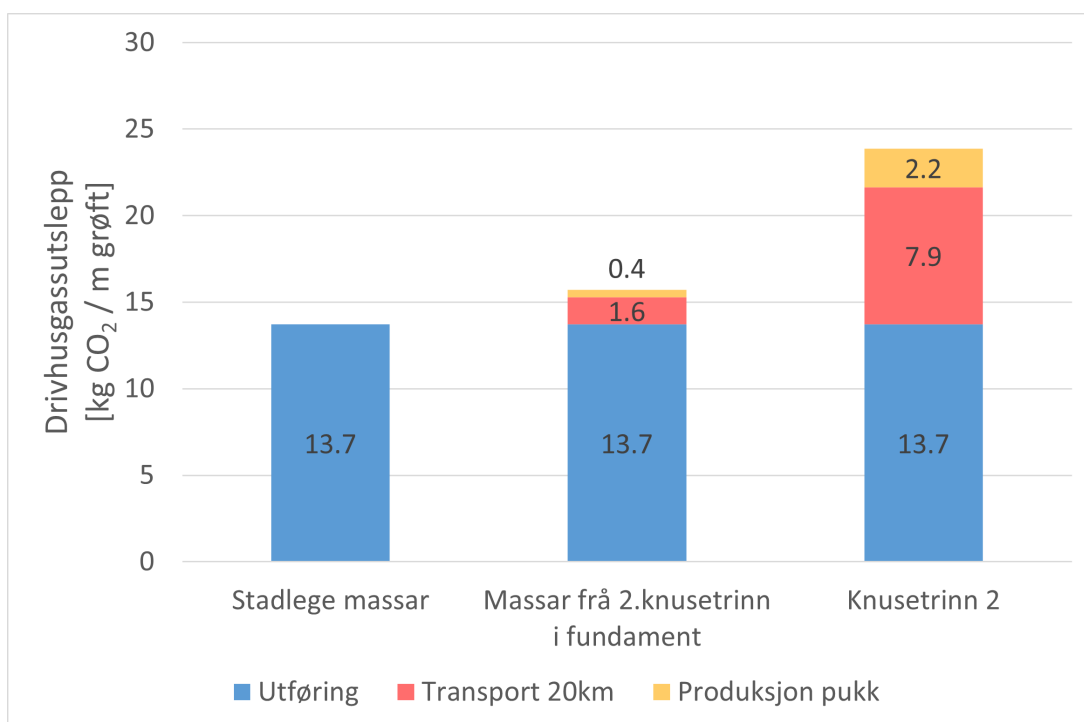
3.1 Miljøpåverknadar for produksjon av ulike typar massar

3.1.1 Røyrdimensjon 300 millimeter

Resultata for produksjon av ulike massar for eitrøyrgrøfter med røyrdimensjon 300 millimeter under veg er presentert i figur 3.1, der det er nytta funksjonell eining frå figur 2.2. I gjenfyllinga er det nytta stadlege massar og veg, medan massane i røyrsona varierar (tabell 2.2). Søylediagrammet viser at massar med to knusetrinn, gjev 16 prosent mindre miljøpåverknad enn for massar med fire knusetrinn. For betongrøyr kan ein nytte massar med eit knusetrinn i sidefylling og beskyttelseslag, medan ein må ha massar frå knusetrinn to i fundamentet. Dette gjev 45 prosent mindre miljøpåverknad enn å nytte massar frå knusetrinn fire i heile røyrsona.



Figur 3.1: CO₂-utslepp for pukkproduksjon av ulike omfyllingsmassar i røyrsona for eit røyrsgroft med røyrdimensjon 300 millimeter under veg.



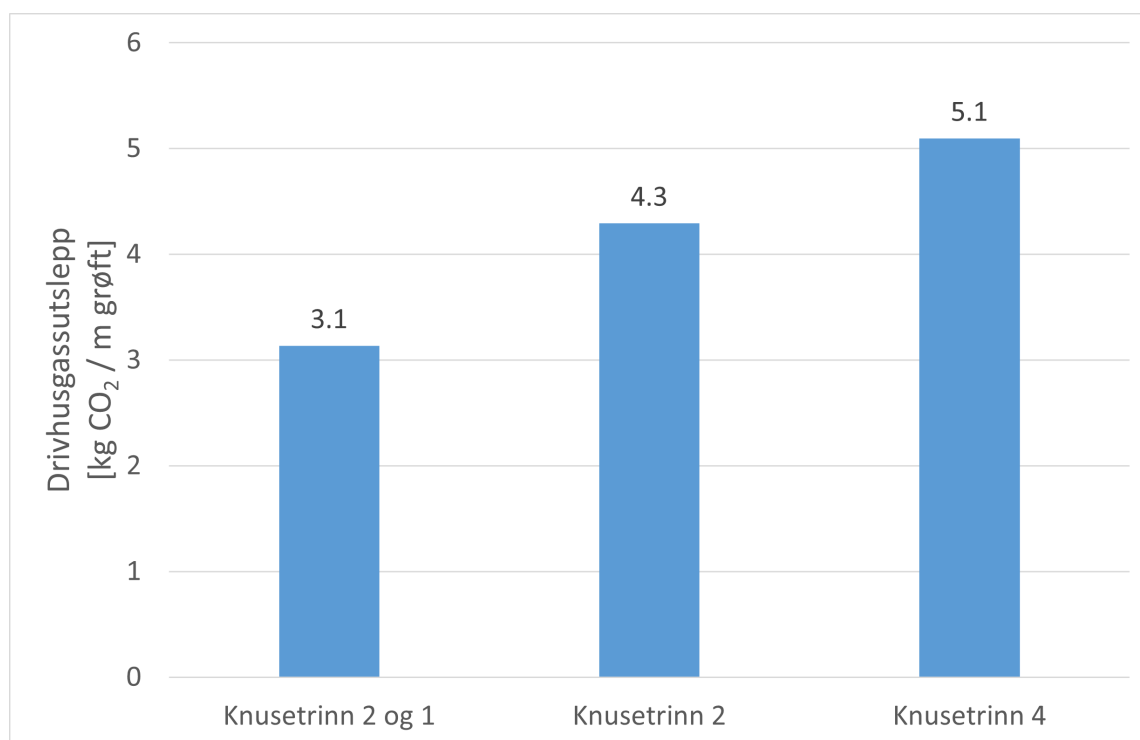
Figur 3.2: CO₂-utslepp frå heile livsløpet for eit røyrsgroft utanom veg med overdekning ein meter utanom veg.

Figur 3.2 viser skilnaden i total miljøpåverknad mellom ulike alternativ av massar utanom veg, med overdekning ein meter (tabell 2.2). For alle stega i livsløpet gjev det

samla sett 43 prosent mindre miljøpåverknad å nytte stadlege massar enn massar frå knusetrinn to i heile røyrsona. Må ein nytte pukk i fundamentet, og stadlege massar i resten av røyrsona, gjev dette 34 prosent mindre miljøpåverknad enn å nytte massar frå knusetrinn to i heile røyrsona. Her ser ein at sjølve grøfteutføringa er lik for alle alternativ. Vidare utgjer transport og produksjon av pukk ein skilnad. Transportavstanden her er sett til 20 kilometer. Reduksjon av transport er det som utgjer største skilnaden mellom desse alternativa.

3.1.2 Røyrdimensjon 600 millimeter

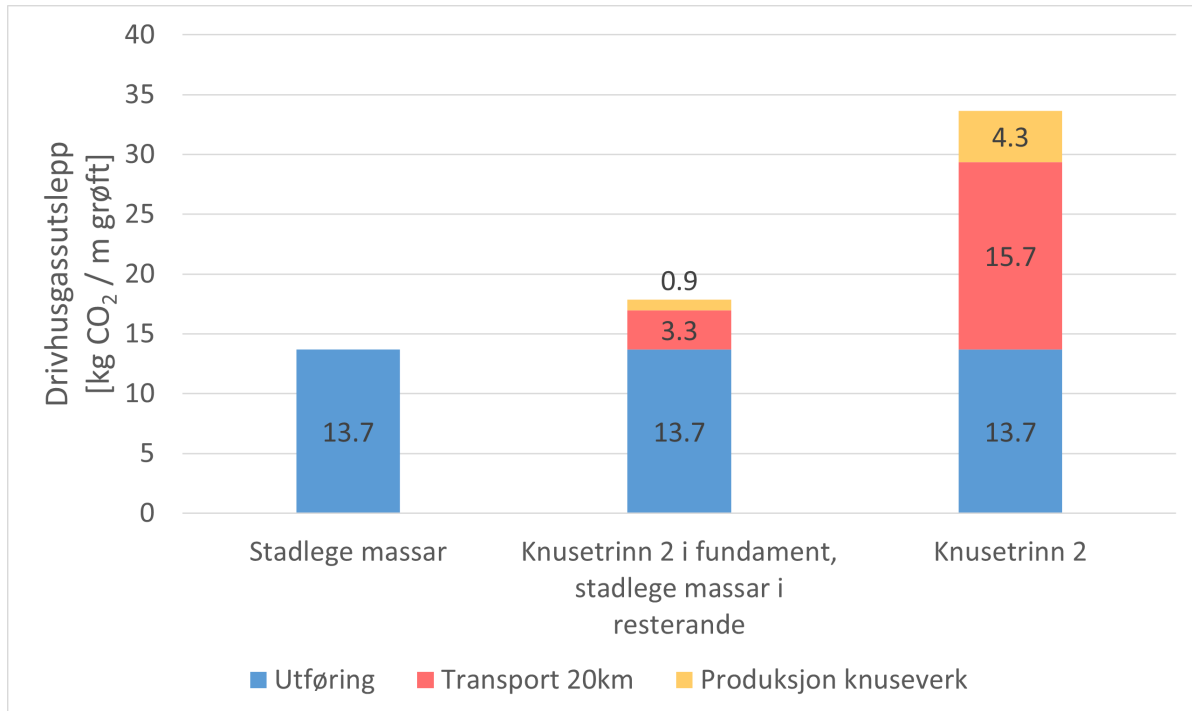
Funksjonell eining for resultata i figur 3.3, som er røyrgrøfter under veg, er vist i figur 2.3. Massane i røyrsona varierar (tabell 2.3) mellom ulike knusetrinn og ulike kombinasjonar av knusetrinn. Eit grøftetverrsnitt har nytta massar frå knusetrinn fire, dette gjev 16 prosent større miljøpåverknad enn å nytte massar frå knusetrinn to. Betongrøyr kan nytte massar frå knusetrinn ein i sidefylling og beskyttelseslag, og massar frå knusetrinn to i fundament. Ved å nytte ein kombinasjon av massar frå knusetrinn ein og to, i steden for massar frå knusetrinn fire, gjev dette 38 prosent mindre miljøpåverknad med tanke på produksjonen av massar.



Figur 3.3: CO₂-utslepp for pukkproduksjon av ulike omfyllingmassar i røyrsona for eitrøyrgrøfter med røyrdimensjon 600 millimeter under veg.

Søylediagrammet i figur 3.4 viser resultat for masseval utanom veg. Her er det eit alternativ med stadlege massar i røyrsona, eit med 4/22 i røyrsona og eit med 4/22 i

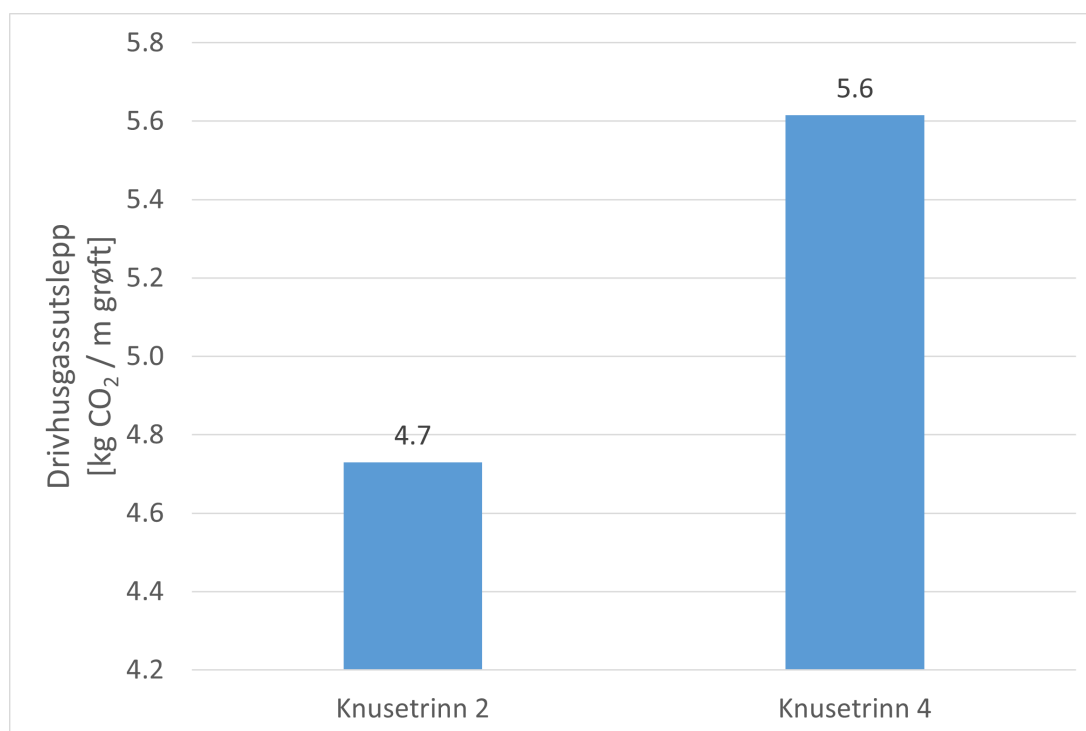
fundamentet og stadege massar i resterande. Ved å nytte stadlege massar i røyrrona gjev dette 59 prosent mindre miljøpåverknad enn om ein nyttar 4/22 i røyrrona. Dette kjem av CO₂-utsleppa frå transport og produksjon av massar ved å nytte 4/22, som fell vekk ved å nytte stadlege massar. Nyttast det 4/22 i fundamentet og stadlege massar i resterande, gjev dette 47 prosent mindre miljøpåverknad enn ved å 4/22 i heile røyrrona.



Figur 3.4: CO₂-utslepp for produksjon av ulike massar i røyrrona for eitrøyrsgrofter med røyrdimensjon 600 millimeter utanom veg.

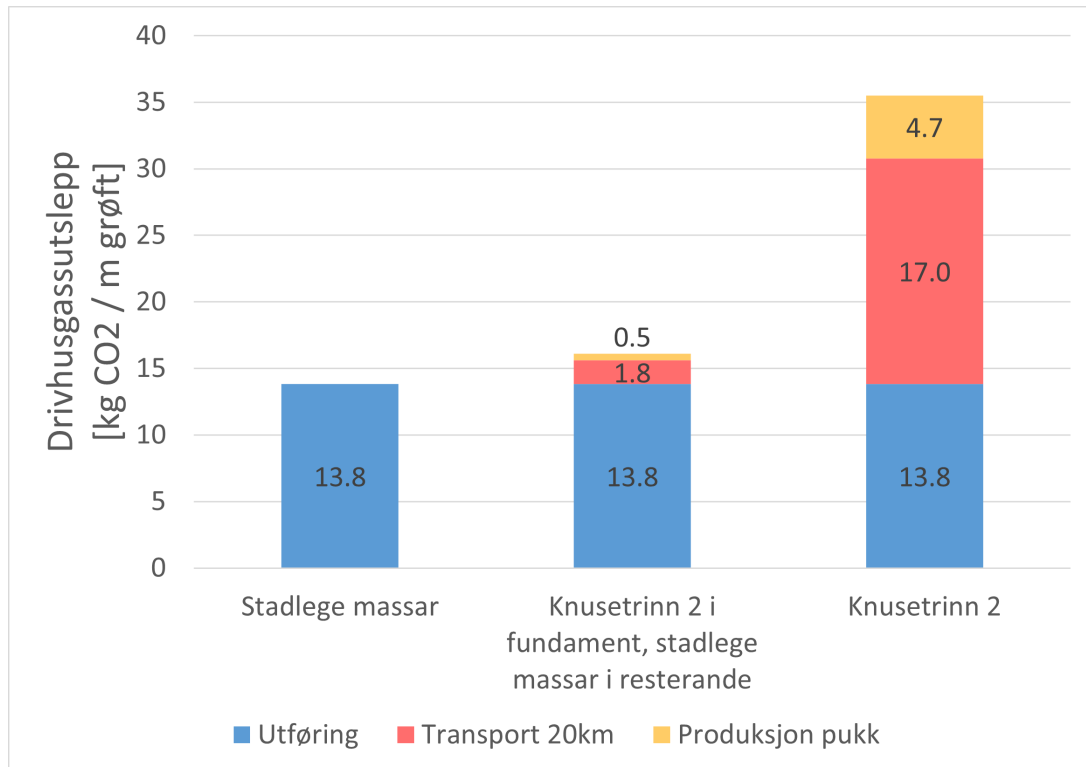
3.1.3 Fleirrøyrsgrofter

Funksjonell eining for fleirrøyrsgrofter er vist i figur 2.4. Søylediagrammet for ulik massebruk (tabell 2.4) for fleirrøyrsgrofter er synt i figur 3.5. Det kjem fram av diagrammet at å nytte massar frå knusetrinn to gjev 16 prosent mindre miljøpåverknad enn å nytte massar frå knusetrinn fire.



Figur 3.5: CO₂-utslepp for produksjon av ulike omfyllingsmassar for for fleirrøyrsgrofter under veg.

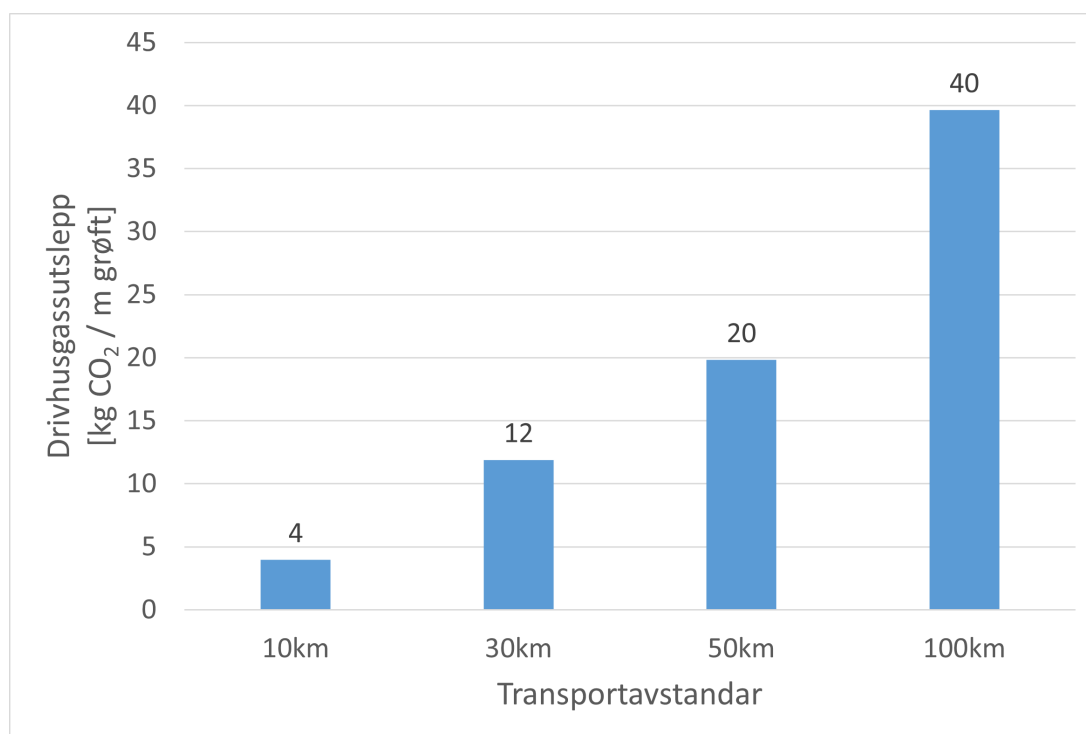
Det kan utanom veg nyttast stadlege massar i røyrsona om massane er eigna til det, resultata for dette er framstilt i figur 3.6. Ved å nytte stadlege massar i røyrsona i staden for massar frå knusetrinn to, gjev dette tilsaman 61 prosent mindre miljøpåverknad for alle stega i livsløpet. Tilseie omstenda at ein burde nytte massar frå knusetrinn to i fundamentet, gjev dette 55 prosent mindre miljøpåverknad enn å nytte massar frå knusetrinn to i heile røyrsona.



Figur 3.6: CO₂-utslepp for produksjon av ulike massar i røyrrona for fleirrøys-grøfter utanom veg.

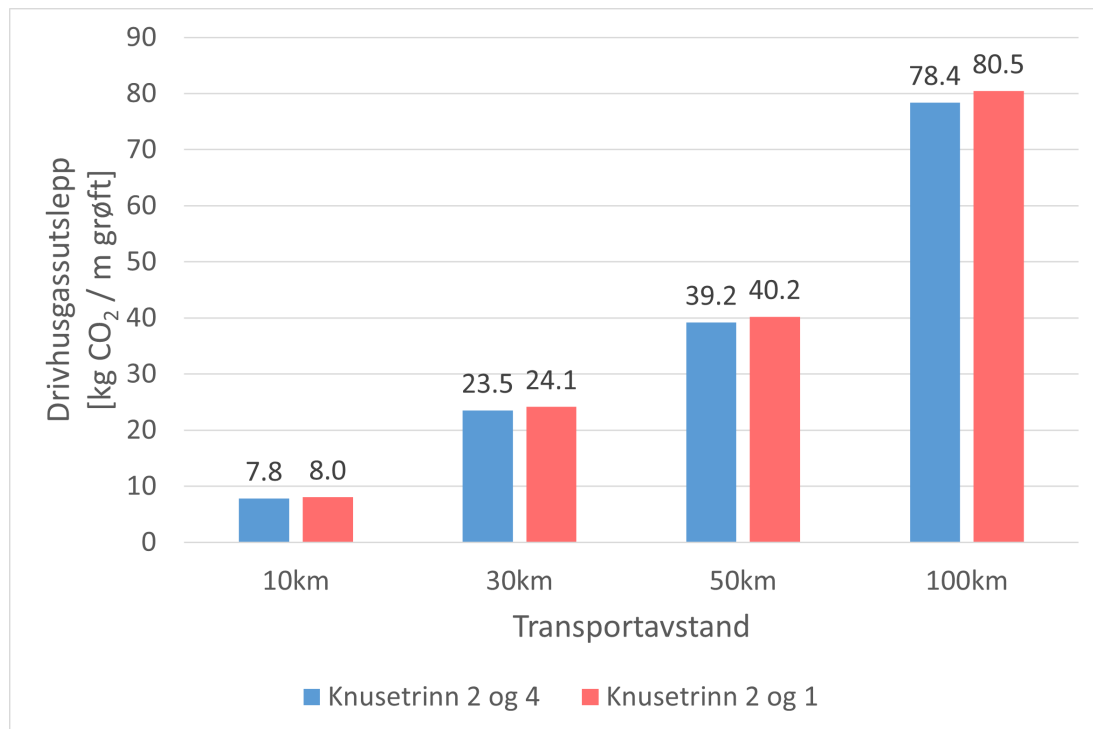
3.2 Ulike transportavstandar

Figur 3.7 framstiller miljøpåverknadane for ulike transportavstandar for massar til ei røyrgrøft med røyrdimensjon 300 millimeter (figur 2.2). Alle transportavstandar har lineært aukande miljøpåverknadar med transportavstanden. Dette gjev at ein transportavstand på 100 kilometer har ti gonger større miljøpåverknad enn ein transportavstand på 10 kilometer.



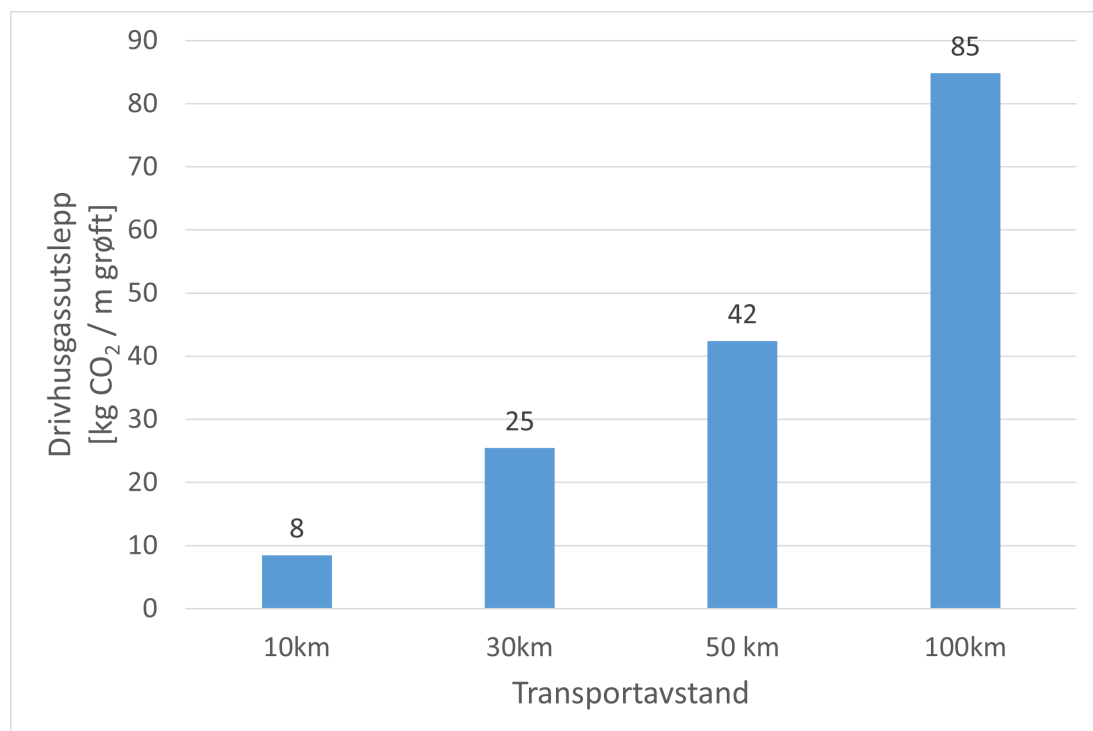
Figur 3.7: Miljøpåverknadar for ulike transportavstandar for eit røyrgrøft med røyrdimensjon 300 millimeter.

For grøfter med røyrdimensjon 600 millimeter (figur 2.3) er miljøpåverknadane framstilt i figur 3.8. Her varierar miljøpåverknadane for transport ut frå fraksjonane på massane. Dette kjem av ulik tettheit for massane. Fraksjonen i sidefylling og beskyttelseslag er 20/120, denne har tettheit på 1 500 kg/m³ (Vedlegg D), medan dei andre fraksjonane har tettheit 1 400 kg/m³. Frakt av massar til røyrgrøfter med 20/120 i sidefylling og beskyttelseslag gjev 3 prosent større miljøpåverknad enn å frakte massar til røyrgrøfter med 4/22 i heile grøftetverrsnittet.



Figur 3.8: Miljøpåverknadar for ulike transportavstandar for eitrørsgrofter med røyrdimensjon 600 millimeter.

Miljøpåverknaden for transport av massar til fleirøyrsgrofter (figur 2.4) er vist i figur 3.9. Dei undersøkte massane har same tettleik, og har dermed same miljøpåvernad med tanke på transport. Miljøpåverknaden er lineært aukande med transportavstanden.

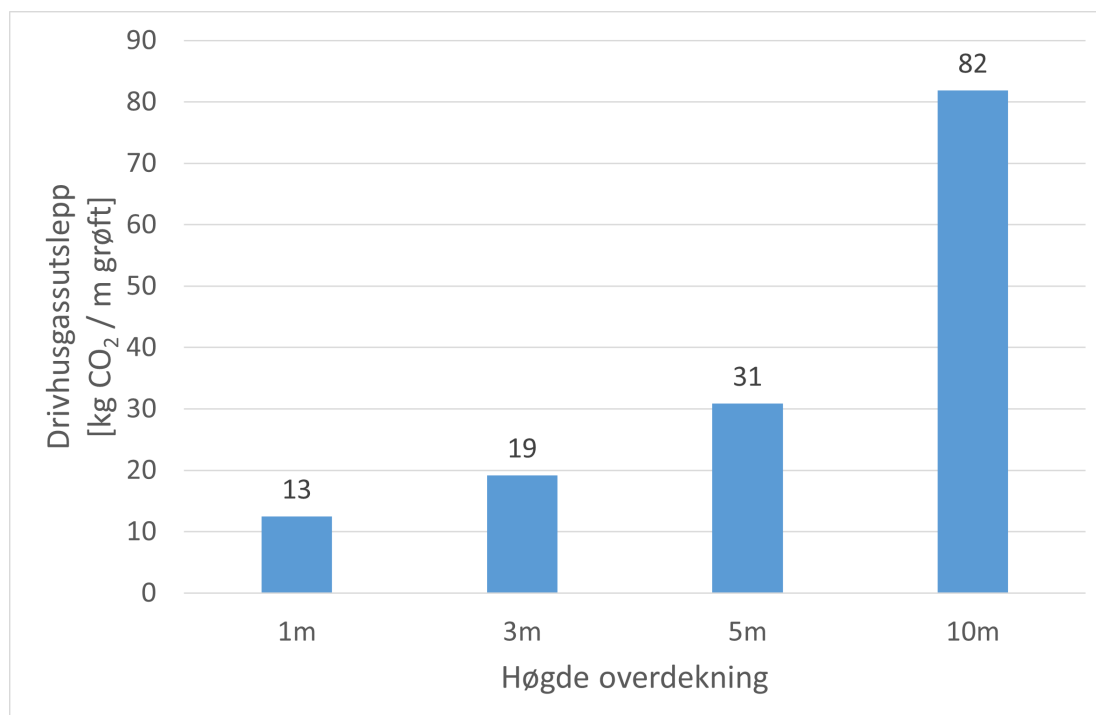


Figur 3.9: Miljøpåverknadar for ulike transportavstandar for fleirøyrsgrofter.

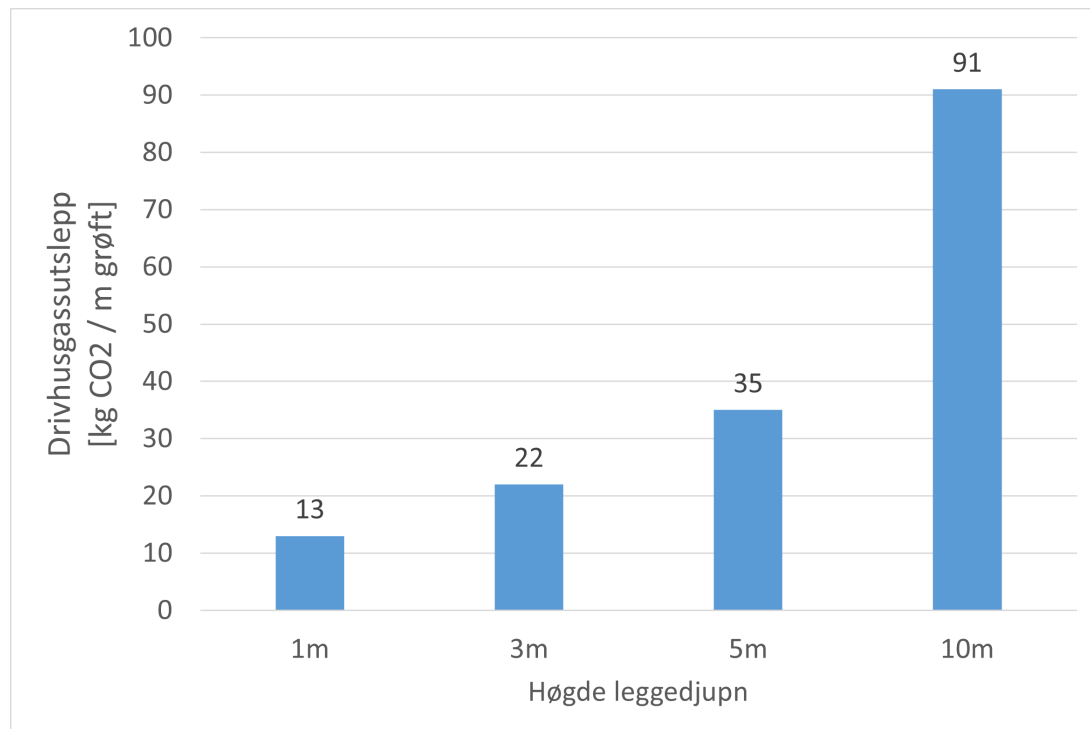
3.3 Miljøpåverknadar ved utføring

Figur 3.10 framstiller miljøpåverknadane for ulike leggedjupner for eitrøyrsgrofter med røyr diameter 300 millimeter. Ut frå diagrammet er det ein aukande miljøpåverknad med aukande leggedjupn. Dette gjeld også for eitrøyrsgrofter med røyr dimensjon 600 millimeter (figur 3.11) og fleirrøyrsgrofter (figur 3.12). Det gjev omlag 35 prosent mindre miljøbelastning for alle grøftetypar ved å ha ein meter overdekning kontra tre meter. Ved ti meter overdekning gjev dette ei miljøbelastning på rundt 85 prosent meir enn ved ein meter. Auka i leggedjupn er ikkje lineær med miljøpåverknaden.

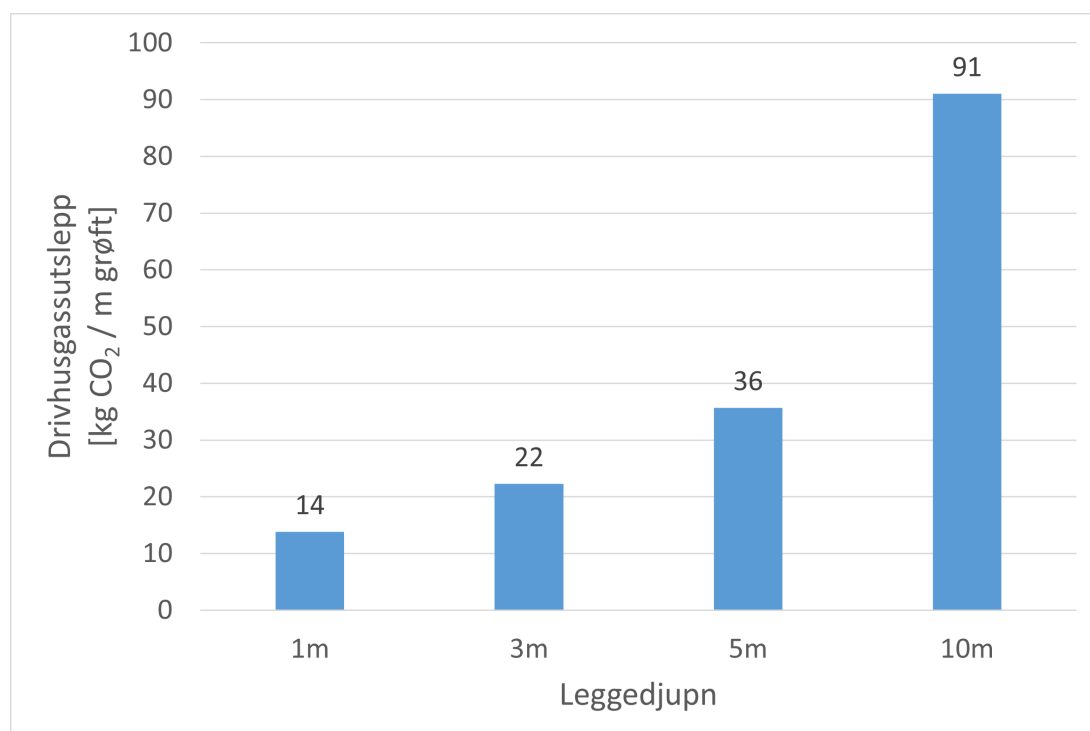
Ved utføring av ulik leggedjupn og ulike grøftevinklar, er det ut frå resultata vist at til større volum massar ein må handtere, til meir diesel nyttar anleggsmaskinene, noko som gjev ein større miljøpåverknad. Auka volum ved aukande leggedjupn kjem av det trapesforma grøftetverrsnittet, som ved djupe grøfter vil føre til stor bredde på toppen av tverrsnittet ved djupn ti meter.



Figur 3.10: Miljøpåverknadar for utføring av ulike overdekningar for eitrøyrsgrofter av dimensjon 300 millimeter.

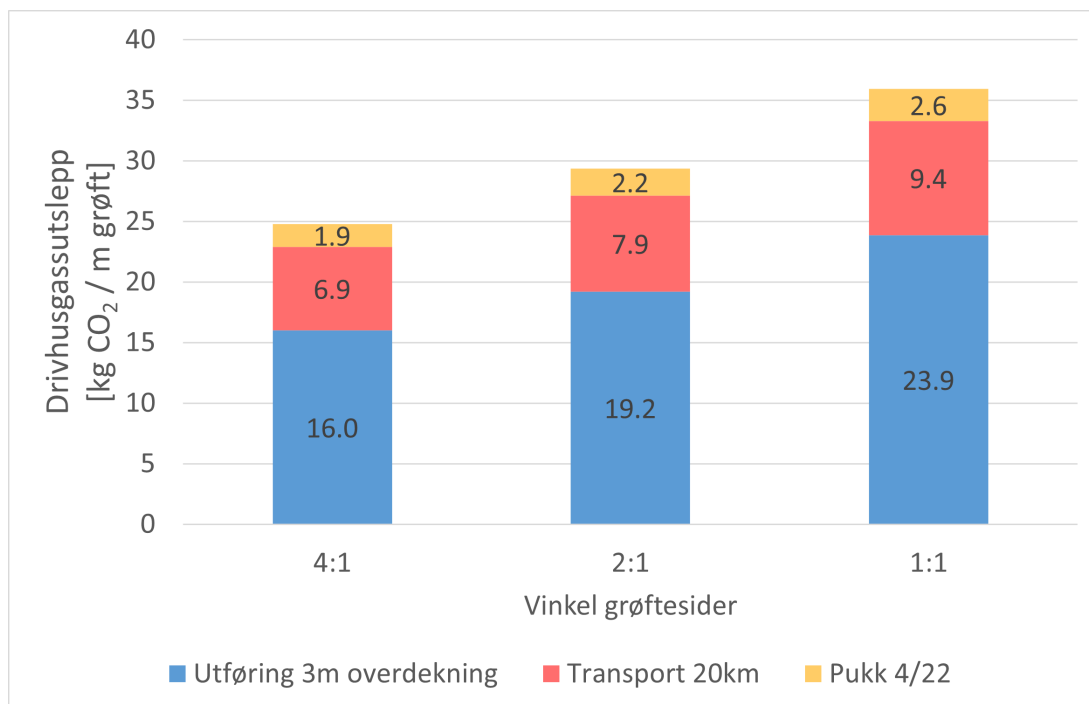


Figur 3.11: Miljøpåverknadar for utføring av ulike overdekningar for eitrøyrsgrofter av dimensjon 600 millimeter.



Figur 3.12: Miljøpåverknadar for utføring av ulike overdekningar for fleirrøyrsgrofter.

Skilnadane i miljøpåverknadane for livsløp for ulike røyrgrøfter med grøftevinkel 1:1, 2:1 og 4:1 er framstilt i figur 3.13. Ved å nytte andre vinklar på grøftesidene kan ein redusere massehandteringa, og vidare redusere miljøpåverknadane frå grøfteutføringa, transport og produksjon av pukk. Om ein samanliknar ei grøft med tre meter overdekking, fraktavstandar 20 kilometer og massen 4/22 i røyrsona, for vinkel 1:1 og vinkel 4:1, vil det tilsaman vere 30 prosent større miljøpåverknad for vinkel 1:1 enn 4:1.



Figur 3.13: Miljøpåverknadar for ulike vinklar for dei ulike delane av livsløpet. Overdekning tre meter.

4. Diskusjon

4.1 Diskusjon av datagrunnlaget

Datagrunnlaget for miljøpåverknadane til transport er jamfør krav frå EU. Lastebilar blir godkjent innanfor ulike EURO-kodar, som har krav til utslepp. Dette blir derfor vurdert til ein god og korrekt kjelde i denne analysa, frakt av nye massar til grøfta og stadlege massar til deponi er inkludert.

For grøfteutføringa er det erfaringstal frå Asplan Viak som er nytta, noko som inkluderar røyrlarbeid, komprimering, etterarbeid, gjenfylling og drivstoff til graver. Desse tala kan i røynda vere meir varierende, grunna ulik praksis hjå ulike entreprenørar. Uforutsette problem kan oppstå ved legging. Dårlig forarbeid kan føre til at ein kan møte på fjell, finne ukjende og umerka røyr og kablar eller anna i grunnen som ein må undersøke. Dette kan føre til større miljøpåverknadar enn kva som kjem fram av datane.

Datagrunnlaget for produksjon av steinmassar frå pukkverk er henta frå same EPD, frå same pukkverk. Det er vurdert at ein får fram potensialet i miljøreduksjonen ved å redusere tal knusetrinn, sjølv om dei spesifikke miljøpåverknadane frå kvart enkelt pukkverk vil variere noko. Knuseverk som er optimalisert på effektivitet og blir drifta ved bruk av fornybare energiresursar, er ofte vurdert til å ha mindre miljøbelastning enn knuseverk som er drifta på ikkje-fornybare ressursar som diesel. Denne skilnaden er ikkje inkludert i denne analysa, det er i staden valt eit tilfeldig pukkverk til å representere pukkverka. Dette pukkverket brukar fire knusetrinn på å produsere massar med fraksjonen 8/16. At det nyttar fire knusetrinn i staden for tre knusetrinn, slik som fleirtalet av dei andre knuseverka, betyr ikkje at det ikkje er representativt. Nokre av dei andre kan ha høgare miljøpåverknad frå knusetrinn tre enn kva dette har frå knusetrinn fire.

Felles for datagrunnlaget er at det er forbruket av drivstoff som er inkludert, ikkje miljøpåverknaden av produksjonen av sjølv maskinene. Dette er vanleg praksis ved gjennomføring av livsløpsanalyse, sidan driftsfasen ved dieseldrevne maskiner er lang og gjev betydeleg CO₂-utslepp. Det er derfor ikkje diskutert noko rundt bruk av elektriske anleggsmaskiner, sidan desse har betydeleg større utslepp ved produksjon av sjølv

maskinene, og heller ikkje kva som skjer med batteriet etter endt livsløp.

4.2 Diskusjon av krav til ulike fraksjonar

4.2.1 Diskusjon av masseval for termoplastrøyr

I både NS 3420 og VA/miljøblad nr.5 er maks kornstorleik for massar i røyrsona 16 millimeter for termoplastrøyr, opp til og med røyrdimensjon 300 millimeter (tabell 1.12). Over 300 millimeter kan røyrsona ha maks kornstorleik på 22 millimeter. Plastrøyrprodusentane krev øvre kornstorleik på 22 millimeter i fundamentet for alle dimensjonar av termoplastrøyr (tabell 1.13). Statens vegvesen krev maks 22 millimeter opp til røyrdimensjon 300 millimeter i fundamentet (tabell 1.16). For dei gjennomførte analysane, for røyr med dimensjon 300 millimeter, er det nytta 4/22 i røyrsona for termoplastrøyr. Dette er gjort på bakgrunn av at plastrøyrleverandørane tillet dette, sidan det er dei som set garantien for at røyret har ei levetid på 100 år ved å overhalde deira krav.

I Statens vegvesen sine handbøker N200 (tabell 1.16) og R761 (tabell 1.17) er det for fundamentet for røyr med dimensjon over 300 millimeter tillete med kornstorleik 32 millimeter. Dette er ti millimeter meir enn kva NS 3420, VA/Miljøblad nr.5 og røyrprodusentane tilrår. Vidare krev R761 maks kornstorleik 22 millimeter i sidefylling og beskyttelseslag for røyrdimensjonane mellom 300 og 600 millimeter. Dette er for velgraderte massar ti millimeter mindre enn kva NS 3420, røyrprodusentane og N200 (for overvassrøyr og stikkleidningar) tilrår. Det er handbok R761 som har spesielt avvikande krav. Her er det krevd finare massar i sidefylling og beskyttelseslag enn kva det er tillete i fundamentet. Dette er ei motsettnad til andre sine krav. I Statens vegvesen sitt handbokhierarki står normalar og retningslinjer likt, men retningslinjene gjeld berre for Statens vegvesen og for riksvegar, medan normalane gjeld for all offentlig veg. Dette gjer det mest uklart for Statens vegvesen sjølv og for større vegprosjekt at det er ein skilnad i krav, om ein skal følgje krava frå røyrprodusent og N200, som krev maks steinstorleik 32 millimeter, eller redusere til 22 millimeter som R761 krev. I denne studien er krava til røyrprodusentane overhaldt.

4.2.2 Diskusjon av masseval for betongrøyr

Statens vegvesen si handbok N200 samsvarar ikkje med R761 ved bruk av velgraderte massar i fundamentet for røyr med dimensjonar over 400 millimeter. I N200 er det krav til 63 millimeter i fundamentet, medan R761, VA/Miljøblad nr.6 og NS 3420 krev 53 millimeter. At N200 tillett større fraksjonar er ikkje problematisk, sidan det då ikkje kjem i konflikt med alle dei andre som har sett strengare krav.

Vidare for røyrdimensjonar under 400 millimeter tilrår vegvesenet 63 millimeter i sidefylling og beskyttelseslag, medan Basal, VA/Miljøblad og NS 3420 tilrår 64 millimeter. Denne skilnaden på ein millimeter er vurdert til å vere neglisjerbar.

4.2.3 Tverrsnitt for duktile støypejernsrøyr

For duktile støypejernsrøyr samsvarar leggerettleiaren til PAM og dei andre kjeldene til krav og tilrådingar. Dette materialet har heller ingen variasjonar i maks kornstorleik ut frå diemensjonar på røyret. Her kan ein nytte større kornstorleik ved å nytte stadlege massar i staden for å nytte knuste massar. Ved val av massar for duktile støypejernsrøyr er det dermed mindre motseiingar frå dei ulike leggerettleiarane enn kva dei andre røyrmateriala har.

4.2.4 Bruk av stadlege massar i grøftetverrsnittet

I den utførte analysa, der det er nytta stadlege massar, er det ikkje skilt mellom ulike kornstorleikar for denne massen. Ved å nytte stadlege massar i røyrsona, må denne massen først kartleggast og vurderast. Krav til øvre kornstorleik må framleis overhaldast. For termoplastrøyr er det mest eigna å nytte dei finkorna jordartane opp til 22 millimeter for dei minste røyrdimensjonane. Duktile støypejernsrøyr kan i røyrsona nytte mykje av dei same materiala, men her kan ein ha kornstorleik opp til 60 millimeter. For betongrøyr under 400 millimeter kan ein ha opp til kornstorleik 64 millimeter, medan for røyr over 400 millimeter kan steinstorleiken vere opp til 120 millimeter. Dette betyr at plastrøyr ofte krev meir sortering av massar, duktile støypejern krev noko mindre og betongrøyr krev minst. Om ein nyttar sikt til å sortere massane, kan denne vere dieseldreven. Dette kan føre til dess finare sikting av massar dess høgare dieselforbruk og høgare miljøpåverknad. Denne analysa har ikkje teke for seg akkurat dette, og har derfor berre i en overflatisk analyse av miljøpåverknadane til ulike massar i røyrsona av stadlege massar.

I gjenfyllinga er det vanleg å nytte stadlege massar, som må overhalde krava til største kornstorleik i gjenfyllinga (tabell 1.18). NS 3420 har krav til steinstorleik 500 millimeter ved komprimering, vidare har alle dei andre gjennomgåtte kjeldene sett maks steinstorleik til 2/3 av lagtjuknaden ved komprimering. Det er for termoplastrøyr det er sett strengast krav til steinstorleik, denne skal ikkje overstige ein tredjedel av lengda ned til røyret. Dette betyr at for plastrøyr må ein vere 900 millimeter over røyret før ein kan få same krav til steinstorleik som for betongrøyr, det vil seie 300 millimeter. Dette kan igjen gjere det noko meir arbeidskrevjande å sortere massar for termoplastrøyr enn for røyr av betong og støypejern. Sikt som er driven av fossilt brensel kan auke miljøpåverknaden.

4.3 Diskusjon av resultata

Ser ein samla på alle stega i livsløpet, gjev val av kva for ein type fraksjon ein nyttar frå pukkverket mindre utslag i reduksjon av miljøpåverknad, enn om ein klarar ved å redusere transportavstandar. Det er transport av massar og sjølve utføringa som utgjer største delen av miljøpåverknadane. For grøftetverrsnitt med overdekning opp til tre meter er det transportavstandar over 20 kilometer som gjev størst miljøpåverknad. I dei fleste andre tilfeller er det sjølve grøfteutføringa som gjev størst påverknad. I grøfteutføringa er det vanskeleg å redusere utsleppa, på grunn av at desse stega er absolutte. Røyrret må monterast, massar må komprimerast, etterarbeid og gjenfylling må bli utført. Alt dette er gjort av maskiner som krev diesel. Anleggsmaskiner som nytta andre typar drivstoff enn diesel er ikkje vurdert. Djupna på grøfta kan vere vanskeleg å redusere, sidan denne avheng av fleire variablar som frostfri djupn, fall på røyra og maks overdekning med tanke på lastar, som til dømes frå trafikk. Røyr kan leggast frostfritt over frostfri djupn om ein nyttar isolerande tiltak som glasopor eller isolasjonsplater. Miljøpåverknaden til desse tiltaka er ikkje vurdert opp mot miljøgevinsten ved å redusere overdekninga.

Transporten av massar frå pukkverk er derimot noko ein kan redusere, enten ved å nytte stadlege massar eller eit nærare pukkverk. Ved bruk av stadlege massar i heile tverrsnittet kan ein sjå vekk frå utslepp frå transport og pukkproduksjon, noko som kan gje ein betydeleg reduksjon i miljøpåverknad. For transport aukar påverknaden lineært med transportavstanden. Miljøpåverknadane er også avhengig av kor mykje massar som skal fraktast. Til meir massar som fraktast til større miljøpåverknad. For lengre grøfteprosjekt som krev mykje massar, lang transportavstand eller begge deler, kan det gje betydeleg miljøgevinst å vurdere om ein kan nytte stadlege massar i staden. Ved å nytte stadlege massar er det ingen transportavstand eller produksjon av massar, men ein må vurdere om dei stadlege massane er eigna.

Tettleiken varierar noko ut frå kva type masse det er. Massar med høgast tettleik er tyngre per kubikkmeter enn massar med lågare tettleik. Dette kjem av meir holrom med luft mellom massane for massar med låg tettleik. Dette gjev utslag sidan ein reknar kilogram per kilometer. Til fleire kilogram som må fraktast, des meir arbeid må transportmiddelet utføre, som gjev ein større miljøbelastning.

Sidan det er sjølve grøfteutføringa som har størst miljøpåverknad, bør ein ved graving av grøfter tenke langsiktig og heilskapleg. Det bør vurdast om det skal vere ei grøft med eit røyr eller om ein kan legge ned fleire røyr eller kablar for framtidige prosjekt, for å spare miljøet for framtidige miljøpåverknadar frå anleggsmaskiner. Samarbeid med nærliggande prosjekt angående massebruk kan redusere transportavstandar. Eit nærliggande tunnelprosjekt kan ha overskotsmassar som er eigna til å nytte i røyrgrøfter.

Dette krev meir kommunikasjon og samarbeid på tvers av bedrifter og fagområde, men kan gje ein stor miljøgevinst.

Funksjonell eining er sett for grøfter med lengd ein meter. Ved etablering av ei grøft, må ein alltid frakte anleggsmaskiner til anleggsplassen, noko som blir ein del av miljøpåverknaden. Dette er ikkje teke med i denne analysen. Om ein har ei lengre grøft vil miljøpåverknaden av frakt av anleggsmaskiner i snitt bli kortare per meter grøft enn for ei kortare grøft.

4.4 Diskusjon av forbedringspotensiale rundt dagens praksis

Ut frå spørjeundersøkinga (tabell 1.10) kjem det fram at det er skilnadar i kva type fraksjonar som blir nytta i røyrsona. Dei fleste som nyttar fraksjonen 8/16 gjer dette grunna krav i kommunen si VA-norm. Dette er ei norm kvar enkelt kommune i dag står fritt til å endre sjølv. Nokre kommunar utnyttar alt i dag det tilletne spekteret til fraksjonar, men det er fleire som har mykje å hente. Ved å få eit auka miljøfokus på omfyllingsmassar i røyrsona, kan den samla reduksjonen for miljøpåverknadane bli betydelege. Dei neste 100 åra skal Noreg sine 49 355 711 meter med drikkevassleidningar fornyast. Legg ein alle desse i eitrøyrsgrofter og nyttar omfyllingsmassar frå knusetrinn to (2,2 kg CO₂/meter grøft) i staden for frå knusetrinn fire (2,6 kg CO₂/meter grøft) gjev dette ein samla reduksjon på 19 742 tonn CO₂. Dette gjev ein stor miljøgevinst. Klarar ein i tillegg å redusere transportavstandar, samt å utnytte nyttbar stadlege massar, vil gevinsten auke betydeleg. Det er derfor viktig at kommunane byrjar å ta omsyn til miljøpåverknadane rundt grøfteutføringa.

Ein måte å redusere transportavstandane på kan vere ved å opprette masselagringsplassar på stadar med høgt forbruk av massar og lange transportavstandar til pukkverk og deponi. Ved å opprette slike kan masseoverskotet frå eit anlegg bli nytta på eit anna anlegg. Dette kan gje ein betre massebalanse, mindre CO₂-utslepp frå transport og mindre massar til deponi. Her er det krav til at steinmateriale under 90 millimeter har krav til CE-merking om ein fraktar det frå ein anleggsplass til ein annan, jamfør NS-EN 13242.

Ved å nytte massar med eit breiare spekter av fraksjonar til omfyllingsmassar i røyrgrøfter, vil dette gje ein betre massebalanse på pukkverka. Pukkverka sel i dag minst av fraksjonen 0/8, det er derfor eit ynskje frå pukkverka å få ein større marknad for desse steinmassane. Dette kan ein få til ved å nytte 4/22 i staden for 8/16 i røyrgrøfter, og unngår at desse massane eventuelt går til deponi. Dette gjev i tillegg ein miljøgevinst. Blir massar ikkje selt og heller frakta til deponi, blir dei ikkje nytta til eit samfunnsnyttig føremål.

5. Konklusjon

Den gjennomførte analysa viser at det er utføringa og transport av massar som ofte utgjer størst miljøpåverknad. Desse prosessane består av dieseldrevne maskiner, og det er dette dieselforbruket som gjev størst miljøpåverknad. Er transportavstanden under 20 kilometer, er det utføringa som gjev størst miljøpåverknad. Er transportlengda over 50 kilometer og under tre meter overdekning, er det transport som har størst miljøpåverknad. Ved alle tilfeller der transportavstanden er over 10 kilometer, er det pukkproduksjonen som gjev minst miljøpåverknad.

Å redusere miljøpåverknaden frå utføring kan vere vanskeleg. Reduksjon av storleiken på grøftetverrsnittet er ofte ikkje mogleg. Omstendighetane kan føre til at grøfta ikkje kan redusere grøftedjupn eller helling på grøftesidene. Miljøpåverknaden frå transport, kan bli redusert ved å velje eit nærare pukkverk eller ved å nytte stadlege massar. Stadlege massar kan nyttast i røyrsona utanom veg, der desse massane er eigna til det aktuelle røyrmaterialet og røyrdimensjonen. Stadlege massar gjev mellom 43 prosent og 62 prosent reduksjon i samla CO₂-utslepp, i forhold til å nytte 4/22 (knusetrinn to) i røyrsona. Denne reduksjonen kjem av at miljøpåverknaden frå produksjon og transport blir fjerna. Der ein ikkje kan nytte stadlege massar, kan ein redusere miljøpåverknaden ved å velje massar med færre knusetrinn. Massar frå knusetrinn to gjev 16 prosent mindre CO₂-utslepp enn å nytte massar frå knusetrinn fire (fraksjon 8/16).

Oppgåva konkluderar med at det viktigaste å fokusere på er å hente massar lokalt, ved å enten nytte stadlege massar eller redusere transportavstanden for å redusere negativ miljøpåverknad.

5.1 Forslag til videre arbeid

Med utgangspunkt i det utførte mastergradsarbeidet er forslag til å videreføring for følgende problemstillinger:

- Undersøke miljøpåverknaden ved å nytte massane SINTEF foreslår i sin rapport, og for steinmassane som blir anbefalt i den nye norske vannstandarden.
- Undersøke miljøpåverknadane ved å nytte elektiske maskiner til utføring, transport og pukkproduksjon kontra dieseldrevne.
- Systematisering og vidare arbeid av bakgrunnsdata frå pukkverk og utføring.

Referanser

- Aarhaug, O. R. (1984). *Geoteknikk og fundamenteringslære. 1 - Nasjonalbiblioteket*. NKI-forlaget. URL: <https://www.nb.no/nbsok/nb/999e873492612d2b7b9f84cc952a4f94?lang=no#11>.
- Bærum kommune (2020). *VA-Norm Bærum Kommune*.
- BASAL (2017). *Leggeanvisning*.
- Berg, T. (2017). *Norsk Vann - Historikk*. URL: <https://www.norskvann.no/index.php/kompetanse/adk/historikk>.
- Breen, T. (2019). *Norsk Vann - Prisen for vannlekkasjer – presisering*. URL: <https://norskvann.no/index.php/10-nyheter/2180-prisen-for-vannlekkasjer-%E2%80%93-presisering>.
- Bruserud, C. (2020). *Re: Spørsmål rundt prøveprosjekt med produksjon av 4/22 grøftepukk*.
- Byggherreforskriften (2010). *Forskrift om sikkerhet, helse og arbeidsmiljø på bygge- eller anleggsplasser (byggherreforskriften) - Lovdata*.
- Clausen, J.-E. (1991). *Grøfter : utførelse og sikkerhet*. Teknologisk institutt. URL: https://www.nb.no/items/URN:NBN:no-nb_digibok_2007112204078?page=23.
- Dahlstrøm, O. (2015). *Knust stein / pukk , Oslo og Bærum*. Tekn. rapp.: 1–8. URL: https://www.epd-norge.no/getfile.php/138731-1520978061/EPDer/Byggevarer/Asfalt/527_Crushed-stone-construction-aggregate-products--Oslo-and-Baerum_no.pdf.
- Direktoratet for byggkvalitet (2020). *13. Ytelseserklæringen - Direktoratet for byggkvalitet*. URL: <https://dibk.no/regelverk/dok/veiledning-til/13.-ytelseserklæringen/>.
- Ecoinvent (2020). *About – ecoinvent*. URL: <https://www.ecoinvent.org/about/about.html>.
- Erichsen, E. (2019). *Transport av byggeråstoffer og miljøfotavtrykk*. Tekn. rapp. URL: https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2018/2018_025.pdf.
- Eyolf Erichsen, T., Heldal, T., Keiding, J., Schiellerup, H. og Aslaksen Aasly og Agnes Raaness, K. (2016). *Mineralske ressurser i bakken, NGU*. Tekn. rapp. NGU. URL: <https://www.ngu.no/publikasjon/mineralske-ressurser-i-bakken-oversikt-og-analyser-2016>.
- Forskrift om ledninger i offentlig veg (2013). *Forskrift om saksbehandling og ansvar ved legging og flytting av ledninger over, under og langs offentlig veg - Lovdata*.
- Forskrift om utførelse av arbeid (2011). *Forskrift om utførelse av arbeid, bruk av arbeidsutstyr og tilhørende tekniske krav*.
- Jernbanekompetanse.no (2011). *Lærebøker i jernbaneteknikk*. URL: <https://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Fil:Fig521-601.png>.
- lca.no (2019). *Hva er LCA ? - LCA.no - Skybaserte løsninger for miljødokumentasjon*. URL: <https://lca.no/hva-er-lca/>.

- lca.no (2020a). *Hva er EPD ? - LCA.no - Skybaserte løsninger for miljødokumentasjon*. URL: <https://lca.no/hva-er-epd/>.
- lca.no (2020b). *Miljøpåvirkninger - LCA.no - Skybaserte løsninger for miljødokumentasjon*. URL: <https://lca.no/miljopavirkninger/>.
- Mattilsynet (2019). *STATUS FOR DRIKKEVANNS-OMRÅDET I LANDETS KOMMUNER*. Tekn. rapp. Mattilsynet: 53.
- VA-Miljøblad (2020). *VA-Miljøblad hjem*. URL: <https://www.va-blad.no/>.
- Moser, A. P. (2001). *Buried Pipe Design*.
- Myhrstad Jan A. ; Urke, I. (1985). *En analyse av VA-ledningers innbyrdes plassering i grøft*. Tekn. rapp.: 9.
- Norsk Standard (2019). *NS:3420 Grunn- og terrengarbeid*. Tekn. rapp. 2: 148–153.
- Norsk Vann (2014). *Vann- og avløpsteknikk*. 2. Norsk Vann: 16–19.
- NPG (2018). *LEGGING AV PLASTRØR*. Tekn. rapp.
- PAM (2008). *Omfillingsmasser i ledningsgrøfter*. Tekn. rapp. 08: 58–61.
- Regjeringen (2014). *Nasjonale mål - Vann og helse*. Tekn. rapp.: 38. URL: https://www.mattilsynet.no/mat_og_vann/drikkevann/nasjonale_maal_vann_og_helse/norges_maal_for_vann_og_helse.36772/binary/Norges%20m%C3%A5l%20for%20vann%20og%20helse.
- Rise, T., Alnæs, L. og Rambæk, I. (2019). *Kortreist stein (2016 – 2019)*. Tekn. rapp.
- Rostad, M. (2017). *Finansieringsbehov i vannbransjen 2016-2040*. Tekn. rapp. URL: <https://norsk vann.no/index.php/kompetanse/va-bokhandelen/produkt/cid-641>.
- FN-sambandet (2019). *FNs bærekraftsmål. FN-sambandet*. URL: <https://www.fn.no/0m-FN/FNs-baerekraftsmaal>.
- Samferdselsdepartementet (2013). *Veileder: Ledninger i riksveger*. Tekn. rapp.: 20. URL: https://www.regjeringen.no/contentassets/e8f7cf72d6ab4534a60aaffd690b0d33/veileder_131009_ledning.pdf.
- Søderholm, J. (2016). *CE-merking av pukk fra mobile pukkverk*. URL: <https://anleggsmaskinen.no/2015/03/kun-kortreist-pukk-er-ce-fritatt/>.
- SSB (2019). *Kommunalt avløp - SSB*. Tekn. rapp. URL: https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/var_kostraaar.
- Standard Norge (2019). *NS 3070-1:2015*. Tekn. rapp.
- Standard Norge (2020). *Byggevarer / standard.no*. URL: <https://www.standard.no/fagomrader/bygg-anlegg-og-eiendom/byggevarer/>.
- Statens Vegvesen (2014). *STATENS VEGVESENS RAPPORTER Forsterkning av vegger*. Tekn. rapp.
- Statens Vegvesen (2019). *Om håndbøkene / Statens vegvesen*. URL: <https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker/om-handbokene>.
- Statens vegvesen (2010). *Geoteknikk i vegbygging V220*. Håndbok: 1–624.
- Statens vegvesen (2015a). *Prosesskode 1 – Standard beskrivelse for vegkontrakter – Håndbok R761*: 110.
- Statens vegvesen (2015b). *Veileder: Ledninger i kommunale vegger*. Tekn. rapp.: 21. URL: https://www.vegvesen.no/_attachment/1375728/binary/1111456?fast_title=Veileder+Ledninger+i+kommunale+veger.pdf.

- Statens vegvesen (2018). *Vegbygging – Håndbok N200*: 308.
- Statistisk sentralbyrå [SSB] (2020). *Kommunal vannforsyning - SSB*. Tekn. rapp. URL: https://www.ssb.no/vann_kostra.
- Stiftelsen Østfoldforskning (2002). *LCA-kurs: Hensikt og omfang: funksjonell enhet*. URL: <http://www.sto-projects.com/lcakurs/index5.asp>.
- Tønne, M. (2019). *Hva er forskjellen mellom pukk og grus?* URL: <https://www.franzefoss.no/blogg/hva-er-forskjellen-mellom-pukk-og-grus>.
- VA/Miljøblad nr.10 (2019). *VA-Miljø nr.10 Kravspesifikasjon for rør og rørdeler av PVC-U materiale*. Tekn. rapp.
- VA/Miljøblad nr.11 (2019). *VA/Miljøblad nr.11 Kravspesifikasjon for vann- og avløpsrør av PE materiale*. Tekn. rapp.
- VA/Miljøblad nr.12 (2019). *VA/Miljøblad nr.12 Kravspesifikasjon for trykkløse grunnavløpsrør og rørdeler av PP (polypropylen) materiale*. Tekn. rapp.
- VA/Miljøblad nr.14 (2018). *VA/Miljøblad nr.14 Kravspesifikasjon for betong avløpsrør*. Tekn. rapp.
- VA/Miljøblad nr.16 (2018). *VA/Miljøblad nr.16 Kravspesifikasjon for duktile støpejernsrør*. Tekn. rapp.
- VA/Miljøblad nr.30 (2010). *VA/Miljøblad: Valg av rørmateriale*. Tekn. rapp.
- VA/Miljøblad nr.5 (2000). *VA/Miljøblad nr.5 Grøfteutførelse fleksible rør*. Tekn. rapp.
- VA/Miljøblad nr.5 (2016). *VA/Miljøblad nr.5 Grøfteutførelse fleksible rør : VA-Miljø*. Tekn. rapp.
- VA/Miljøblad nr.6 (2016). *VA/Miljøblad nr.6 Grøfteutførelse stive rør : VA-Miljø*. Tekn. rapp.
- Veglova (1964). *Lov om vegar (veglova) - Lovdata*.

Vedlegg A. Rapport spørjeundersøking

I spørjeundersøkinga var det elleve kommunar som svarte. Dette gjev noko innsyn i kva kommune-Norge nyttar av massar, men langt frå eit heilskapleg bilete. Det var kommunar frå alle landsdelar som svarte, og fleire av sentrale kommunar for sin landsdel (Figur A.1).

Tabell A.1: Kommunane frå spørjeundersøkinga.

Vest	Aust og innlandet	Nord	Sør	Midt-Noreg
Stryn	Drammen	Tromsø	Kristiansand	Trondheim
Kinn	Aurskog-Høland	Rana		
Gloppen	Ringsaker			
Sunnfjord				

I undersøkinga var det følgjande spørsmål kommunane fekk:

1. Hvilken fraksjon / fraksjoner bruker din kommune som omfyllingsmasser i flerrørsgrøfter?
2. Hvilken fraksjon / fraksjoner brukes i ettrørsgrøfter?
3. Hva er begrunnelsen for valg av denne fraksjonen / disse fraksjonene?
4. Hvis valget er basert på dokumentasjon eller krav i dokumenter, nevne denne / disse
5. Hvor strengt håndhever din kommune krav til omfyllingsmasser?
6. Hva skal til for at kommunen velger en annen fraksjon?
 - Miljøhensyn
 - Sikker levering / tilgjengelighet
 - Dokumentasjon på egnethet (komprimeringskrav, tiltak mot utvasking, egnet for vinterarbeid)
 - Kvalitet på massen (kornfordeling, levetid)

- Begrunnet anbefaling fra Norsk Vann / Norsk Vannstandard
- Andre forhold

7. Hva er gjennomsnittlig transportavstand for omfyllingsmasser i din kommune?
8. Andre kommentarer og synspunkter dere mener er viktige.
9. Kommunenavn, innbyggere, kontaktperson og telefonnummer vedkommende kan nås på.

Tabell A.2: Kor mange kommunar som svarar at dei nyttar aktuelle fraksjonar i grøfter for både eit og fleire røyr.

Fraksjon	Kor mange kommunar som svarar dette
8/16	6
4/16	2
8/22	2
4/22	1

Spørsmål 1 og 2, om kva fraksjonar, svarar kommunane det same for eit- og fleirrøyrsgrofter (tabell A.2). Svara viser at kommunane føretrekker kortare fraksjonar heller enn lengre fraksjonar med eit breiare spekter, som 4/22.

I grunngjevinga for val av fraksjon er det ulike svar frå kommunane, blant anna svarar dei krav frå leggevegleiinga, produsent og VA-norm. Tilgjengelegheit, fraksjonskvalitet, eigen erfaring og pris var også nemnd. Ein kommune hadde miljøomsyn som einaste grunngjeving.

På spørsmål 5 om kor strengt krava handhevast, svarar sju av elleve kommunar at det handhevast strengt. Vidare svarar tre middels strengt og ein svarar veit ikkje.

På spørsmål 6 svarar seks av elleve kommunar at det er endra krav frå Norsk Vann som må til for å endre det dei har sett som dagens krav. Fem kommunar svarar at dokumentasjon på at massane måtte vere eigna, og fem sett kvaliteten på massane som krav. Å endre krava på bakgrunn av miljøomsyn er det berre to av elleve kommunar som er villig til.

Kommunane oppgjev også informasjon om gjennomsnittleg transportavstand i spørsmål 7. Gjennomsnittleg for alle kommunane var 11,3 kilometer.

Tabell A.3: Gjennomgang av leggedjupn frå aktuelle kommunar sine VA-normer.

Krav overdekning	Kor mange kommunar
1,40 m	1
1,50 m	4
1,70 m	1
1,80 m	3
2,00 m	1

Krav til leggedjupn varierar frå kommune til kommune (tabell A.3). Overdekninga varierar med 0,6 meter. Dette kjem av ulikskapar i vêr, klima og frostfridjupn. Kommunane i typisk kaldare klima hadde dei største overdekningane, medan dei typiske vestlands-kommunane med varmare klima har mindre.

Vedlegg B. Rapport frå synfaring Steinskogen pukkverk

På Steinskogen pukkverk blei eg godt motteken av geolog Hedda Jensen, som viste meg rundt på pukkverket (figur [B.1](#). Vanlegaste fraksjonen Steinskogen sel av grøftepukk, er fraksjonen 4/16. For å selje 4/22 må ein blande saman ulike fraksjonar for å få rett kombinasjon, noko som er dyrare. Ved produksjon av 8/16 må til dømes 0/16 (subbus) sendast gjennom eit dieseldrevet mobilt knuseverk for å sikte ut 8/16.

Geologen fortalte om nokre kommunar som hadde krav til flisigheit i pukk (flate steinar), og godtok minimalt av dette i grøftepukk. Franzefoss har normalt 35% flislegheit i pukken sin, eller prøver ikkje overgå dette. Det er ingen krav til dette for grøftepukk.

Ved spørsmål om det var nokre fraksjoner pukkverket har større vanskar med å selje enn andre, blei fraksjonane 0/2 og 0/4 nemnd (figur [B.2](#). Desse hadde dei samla opp store mengder av, og hadde budsjettet for å sende massane til deponi, noko ein helst unngå. I staden blir desse fraksjonane prøvd blanda inn i andre fraksjonar som 0/300 (frostsikringslag veg). Ved å gjere dette har Steinskogen klart å redusere den oppsamla mengda av desse fraksjonane dei siste åra. Å sende massar til deponi er kostbart, ein prøvar dermed så godt ein kan å unngå dette.

Det som var spesielt på dette pukkverket, er at det er betongproduksjon og asfaltproduksjon inne på sjølve verket. Massane til denne produksjonen har veldig strenge krav knytt til seg.

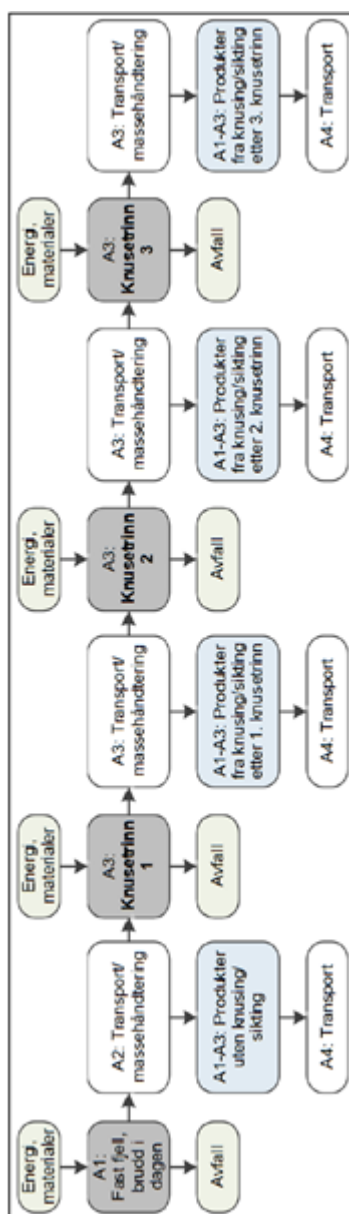
For å produsere desse massane må stein først bli sprengt ut frå fjellet. Deretter går dei gjennom knusetrinn 1. Til det blir det nytta dieseldrevene maskiner, som gravemaskin og dumper, for å frakte massane frå steinbrotet til pukkverket. Resten av prosessen er dreven på elektrisitet. I knusetrinn 2, 3 og 4 skjer all transport via transportband (figur [B.3](#)).



Figur B.1: Oversikt over Steinskogen pukkverk.



Figur B.2: Overskotsmassane til Franzefoss.



Figur B.3: Prosesstre henta frå EPD til pukkverket.

Produkt	Knusetrinn (normalt)	Bruksområde (normalt)
Sprengstein fra røys	0	Frostsikring, forsterkningslag, sikringsmateriale
0-180 Harpet sprengstein	1 (S) / 0 (B)	Frostsikring, forsterkningslag
22/120, 22/250 Kult	1	Forsterkningslag, bærelag, fylling rundt kummer og betongrør
0/16 Subbus	1	Bærelag, finavretting veier, gang-/sykkelstier, gårdsplass
0/45 Subbus	1	Avretting, bærelag
4/16 Pukk	2	Singel til gårdsplass, alle typer grøntanlegg, fin grøftesingel
8/16 Pukk	2 (S) / 3 (B)	Singel til gårdsplass, alle typer grøntanlegg, fin grøftesingel
32/63 Pukk	2	Ballastpukk til jernbane. 32/63 leveres også som finere gradert kult
0/8 Maskinsand	2 (S) / 1 (B)	Kabelgrøfter, hellelegging, idrettsbaner, finavretting
0/4 Maskinsand	2	Kabelgrøfter, hellelegging, idrettsbaner, finavretting, tilslag til asfalt og betongproduksjon
0/2 Maskinsand	3	Kabelgrøfter, hellelegging, idrettsbaner, finavretting
2/4 Pukk	3	Strøware, alle typer grøntanlegg
4/8 Pukk	3	Strøware, singel til gårdsplass, grøftesingel, tilslag til asfalt og betongproduksjon
8/11 Pukk	3	Singel til gårdsplass, alle typer grøntanlegg, tilslag til asfalt og betongproduksjon
11/16 Pukk	3	Singel til gårdsplass, alle typer grøntanlegg, fin grøftesingel, tilslag til asfalt og betongproduksjon
11/22 Pukk	3	Singel til gårdsplass, alle typer grøntanlegg, grov grøftesingel
11/45 Pukk	1 (S) / 3 (B)	Fylling rundt betongrør, fylling rundt murer, forklingspukk, bærelag
16/22 Pukk	3	Grov grøftesingel, fylling rundt murer, forklingspukk, tilslag til betongproduksjon
16/45 Pukk	3	Fylling rundt betongrør, fylling rundt murer, forklingspukk, bærelag

Figur B.4: Frå Steinskogen blir desse massane produsert i dei ulike knusetrinna. Tabellen er henta frå pukkverket sin EPD, der S er Steinskogen, og B er eit anna pukkverk.

Vedlegg C. Data for resultatdelen

C.1 DN300

Tabell C.1: Datagrunnlag for resultatdelen henta frå excel og EPD-generatoren for DN300 for pukkproduksjon.

Masse i fundament	Masse i sidefylling/ beskyttelseslag	Vinkel	Breidde fundament	Kg pukk	kgCO2 /m grøft
8/16	8/16	2:1	90	1182	2,6
4/22	4/22	2:1	90	1182	2,2
4/22	22/63	2:1	90	1140	1,5
4/22	4/22	1:1	90	1406	2,6
4/22	4/22	4:1	90	1024	1,9
4/22	Stadlege massar	2:1	90	233	0,4
Stadlege massar	Stadlege massar	2:1	90	0	0

Tabell C.2: Datagrunnlag for resultatdelen for miljøpåverknad knytt til transport for røyrgrøfter med røyr DN300.

Kg pukk	KgCO2/m grøft	Km
1182	4.0	10
1182	7.9	20
1182	11.9	30
1182	19.8	50
1182	39.6	100
1182	4.0	10
1140	3.9	10
1406	4.7	10
1024	3.4	10
233	1.6	10

Tabell C.3: Datagrunnlag for resultatdelen for miljøpåverknad knytt til utføring for røyrgrofter med DN300.

Overdekning	GWP (kgCO ₂ /m grøft)	Vinkel
1m	12.5	2:1
3m	19.2	2:1
5m	30.9	2:1
10m	81.9	2:1
3m	23.9	1:1
3m	16.0	4:1
1m (utanom veg)	13.7	2:1

C.2 DN600

Tabell C.4: Bakgrunnsdata for resultatdelen henta frå excel og EPD-generatoren for DN600 for pukkproduksjon.

Masse i fundament	Masse i sidefylling/ beskyttelseslag	Vinkel	Breidde fundament	Kg pukk	kgCO ₂ /m grøft
8/16	8/16	2:1	1.3 m	2295	5.1
4/22	4/22	2:1	1.3 m	2295	4.3
4/22	16/32	2:1	1.3 m	2295	4.3
22/63	20/120	2:1	1.3 m	2424	2.8
4/22	Stadlege massar	2:1	1.3 m	480	0.6
Stadlege massar	Stadlege massar	2:1	1.3 m	0	0.0

Tabell C.5: Datagrunnlag for resultatdelen for miljøpåverknad knytt til transport for røyrgrofter med røyr DN600. Transportavstand 10km.

Kg pukk	KgCO ₂ /m grøft
2295	7.8
2295	7.8
2424	8.0
480	3.19

Tabell C.6: Datagrunnlag for resultatdelen for miljøpåverknad knytt til utføring for røyrgrofter med DN600.

Overdekning	GWP (kgCO ₂ /m grøft)	Vinkel
1m	13.7	2:1

C.3 Fleirrøyrsgrofter

Tabell C.7: Bakgrunnsdata for resultatdelen henta frå excel og EPD-generatoren for fleirrøyrsgrofter for pukkproduksjon.

Masse i fundament	Masse i sidefylling/ beskyttelseslag	Vinkel	Breidde fundament	Kg pukk	kgCO2 /m grøft
8/16	8/16	2:1	1	2530	5.6
4/22	4/22	2:1	1	2530	4.7
4/22	Stadlege massar	2:1	1	262	0.5

Tabell C.8: Datagrunnlag for resultatdelen for miljøpåverknad knytt til transport for fleirrøyrsgrofter med transportavstand 10km.

Kg pukk	kgCO2/m grøft
2530	8.5
262	1.8

Tabell C.9: Datagrunnlag for resultatdelen for miljøpåverknad knytt til utføring for fleirrøyrsgrofter.

Overdekning	GWP (kgCO2/m grøft)	Vinkel
1m	14	2:1
3m	22	2:1
5m	36	2:1
10m	91	2:1

Vedlegg D. Utklipp frå rekneark for lca-berekning

I dette kapitlet er utsnitt frå reknearket som Basal og lca.no har utarbeidd vist. Figur [D.1](#), figur [D.2](#) og figur [D.3](#) er den delen av reknearket som ein fyller inn informasjon av grøftetverrsnittet i. Dei innlagte verdiane blir vidare framstilt i eit anna ark i excel-dokumentet (figur [D.4](#)).

Sidefylling			
Materiale	Pukk 4/22		
høyde	0.30 m		
bredde bunn sidefylling	0.90 m		
	0.15		
bredde topp omfylling	1.21 m		
Volum omfylling	0.32 m ³		
Rørtverrsnitt	0.07 m ³		
nødvendig omfyllingsmasser	0.25 m ³	Transport fra anlegg [km]	Transport til anlegg [km]
		20.00	20
Beskyttelseslag			
Materiale	Pukk 4/22		
høyde	0.30 m		
bredde bunn omfylling	1.21 m		
	0.15		
bredde topp omfylling	1.52 m		
nødvendig beskyttelseslag	0.41 m ³	Transport fra anlegg [km]	Transport til anlegg [km]
		20.00	20

Figur D.2: Utsnitt av det nytta reknearket del 2.

Gjenfylling		Transport fra anlegg [km]		Transport til anlegg [km]	
Materiale	Stedlige masser				
høyde	0.20 m				
bredde bunn gjenfylling	1.52 m				
bredde topp gjenfylling	1.72 m				
nødvendig gjenfylling	0.32 m ³				
Grøftetverrsnitt	1 m ³				
Borttransporterte masser	1 m ³				
Pukk 8/16	0				
Pukk 4/22	0.815446287676				
Pukk 16/32	0				
Pukk 32/64	0				
Pukk 20/120	0				
Stedlige masser	0				
Totalt masse = grøftetversnitt	1				
Kontrollberegninger til sjekk av EPD					
DRIFTSTOFFFORBRUK FOR A5					
Rørarbeider / Montasje	0.24 l diesel / m rør				
Komprimering	0.13 l diesel / m rør				
Etterarbeid	1.5 l diesel / m rør				
Gjenfylling	1.5 l diesel / m rør				
Driftstofforbruk gravemaskin	0,374 l diesel / m ³ masse				

Figur D.3: Utsnitt av det nytta reknearket del 3.

	Kommentarer	Forbruk per enhet	Tetthe t	Brennverdi [MJ/kg]	M ³ oppgrav d	Lengde (DU)	Quantity
Tilkjøpte masser - Pukk 8_16 (Tetthet av masser * antall m3)	Pukk 8/16						0 kg
Tilkjøpte masser - Pukk 4_22 (tetthet av masser * antall m3)	Pukk 4/22						1182 kg
Tilkjøpte masser - Pukk 32_64 (tetthet av masser * antall m3)	Pukk 32/64						0 kg
Gjenbruk av stedlige masser (tetthet av masser * antall m3)	Stedlig masse						485 kg
Bortkjørte masser (Tetthet av masser * antall m3 bortkjørt * distance per bortkjørt mengde)	Truck Euro 5						13047 kgkm
Tilkjøpte masser - Pukk 8-16 (Antall km * Antall kg)	Truck Euro 5						0 kgkm
Tilkjøpte masser - Pukk 4_22 (Antall km * Antall kg)	Truck Euro 5						11824 kgkm
Tilkjøpte masser - Pukk 32_64 (Antall km * Antall kg)	Truck Euro 5						0 kgkm
Gjenbruk av stedlige masser (Antall km * Antall kg)	Truck Euro 5						0 kgkm
Rørarbeider/montering (Drivstofforbruk * antall meter i DU)	Diesel (MJ)	0.24	0.84	42.7		1	9 MJ
Komprimering (Drivstofforbruk * antall meter i DU)	Diesel (MJ)	0.125	0.84	42.7		1	4 MJ
Etterarbeid (Drivstofforbruk * antall meter i DU)	Diesel (MJ)	1.5	0.84	42.7		1	54 MJ
Gjenfylling	Diesel (MJ)	1.5	0.84	42.7		1	54 MJ
Drivstoff til graver (Drivstofforbruk per m3 * totalt antall DU)	Diesel (MJ)	0.37	0.84	42.7	1.14		15 MJ
							136

1 Røde felt kopieres og limes inn i xml (ren tekst)

2 Hent ut XML via utvikler og export

3 Importer XML i A5

Figur D.4: Utsnitt av det nytta reknearket del 4.



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway