



trapezia 

miljökonserter som gör skillnad

Åtgärder vid sanering

Mark	<i>in situ</i> <i>ex situ</i>
Sediment	<i>in situ</i> <i>ex situ</i>
Vatten	

Ordlista

In situ - "på plats". jord, sediment och/eller vatten behandlas utan att först grävas eller pumpas upp.

Ex situ - "utanför plats". Föroreningarna antingen grävs eller pumpas för behandling i närheten eller för borttransport till mottagningsanläggning.

Fri fas– innebär att en förorening förekommer rent i sin ursprungsform som t.ex. ren bensin, eldningsolja eller flytande kvicksilver, till skillnad från då föroreningen är bunden till partiklar eller löst i vatten.

Källzon- område som är kraftigt förorenat och en källa för spridning. Föroreningarna i detta område förekommer ofta i fri fas.

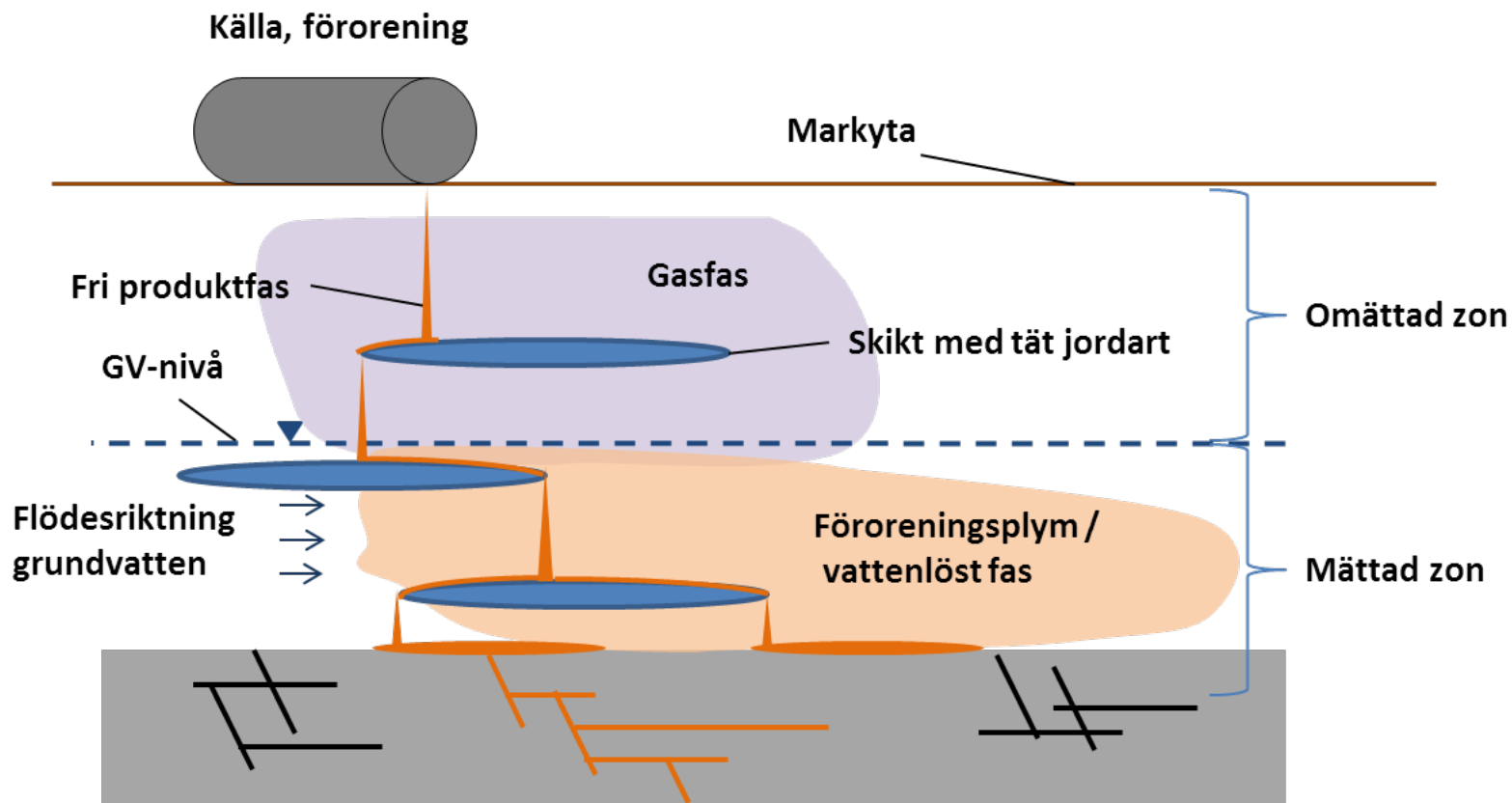
Ordlista

NAPL (Non-Aqueous Phase Liquid) är en vätska som har låg löslighet sig i vatten. Trots att dessa vätskor inte är lösliga i vatten kan de ändå förorena stora volymer vatten då det ofta räcker med små mängder lösta i vattnet för att negativt påverka de organismer som lever i eller dricker av vattnet.

DNAPL (Dense Non-Aqueous Phase Liquid) är en vätska som är tyngre än vatten och som har låg löslighet sig i vatten. Dessa vätskor sjunker ner genom akviferer tills de når en ogenomtränglig jordart och kan därför sprida sig väldigt djupt.

LNAPL (Light Non-Aqueous Phase Liquid) - är en vätska som är lättare än grundvatten och relativt svårtlost i vatten. Dessa vätskor sjunker ner genom markprofilen tills de når en ogenomsläpplig jordart, eller grundvattenytan. Därefter sprider de sig i horisontellt

VOC - flyktiga organiska föreningar. "volatile organic compounds".



MARK

In Situ

Termisk behandling
Porgasextraktion
Fytosanering
Air sparging
Jordtvätt
Grundvattenpumpning och behandling
Inneslutning/barriärteknik
Stabilisering/solidifiering
Övervakad naturlig självrening
Kemisk oxidation
Kemisk reduktion
Biologisk behandling
Flerfasextraktion

Ex Situ

Schaktsanering
Jordtvätt
Termisk behandling
Biologisk behandling
Deponering (ÖNS)

In situ

Termisk behandling

Metoden bygger på att jord och grundvatten hettas upp till den temperatur vid vilken föroeningarna förgasas, och därefter extraheras ur det förorenade området med hjälp av porgasextraktion.

Uppvärmning kan åstadkommas med olika tekniker, vanligast är injektering av vattenånga (ånguppvärmning), uppvärmning via värmeelement (konduktiv uppvärmning), eller genom att elektrisk ström induceras i det förorenade markområdet (elektrisk resistivitetsuppvärmning).

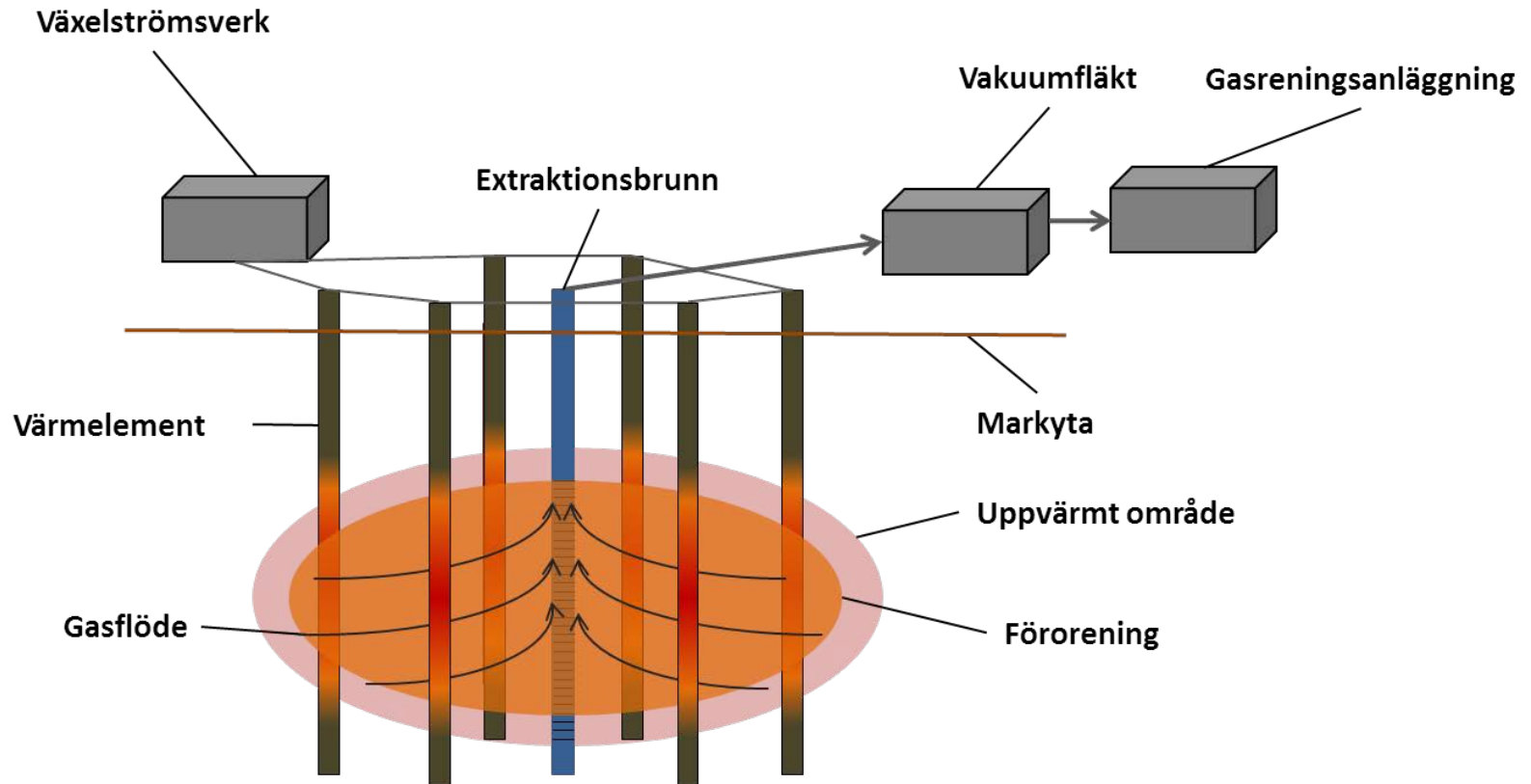
Lämplig för:

Jord och grundvatten som förorenats av klorerade lösningsmedel. Även andra lättflyktiga föroeningsgrupper, som t.ex. petroleumföroeningar och lösningsmedel.

Eventuellt kvicksilver och svårflyktiga kolväten, som t.ex. PCB.

Främst vid behandling av källzoner, både ovanför och under grundvattennivån. Kan användas i flertalet vanligt förekommande jordarter.

Termisk behandling



In situ

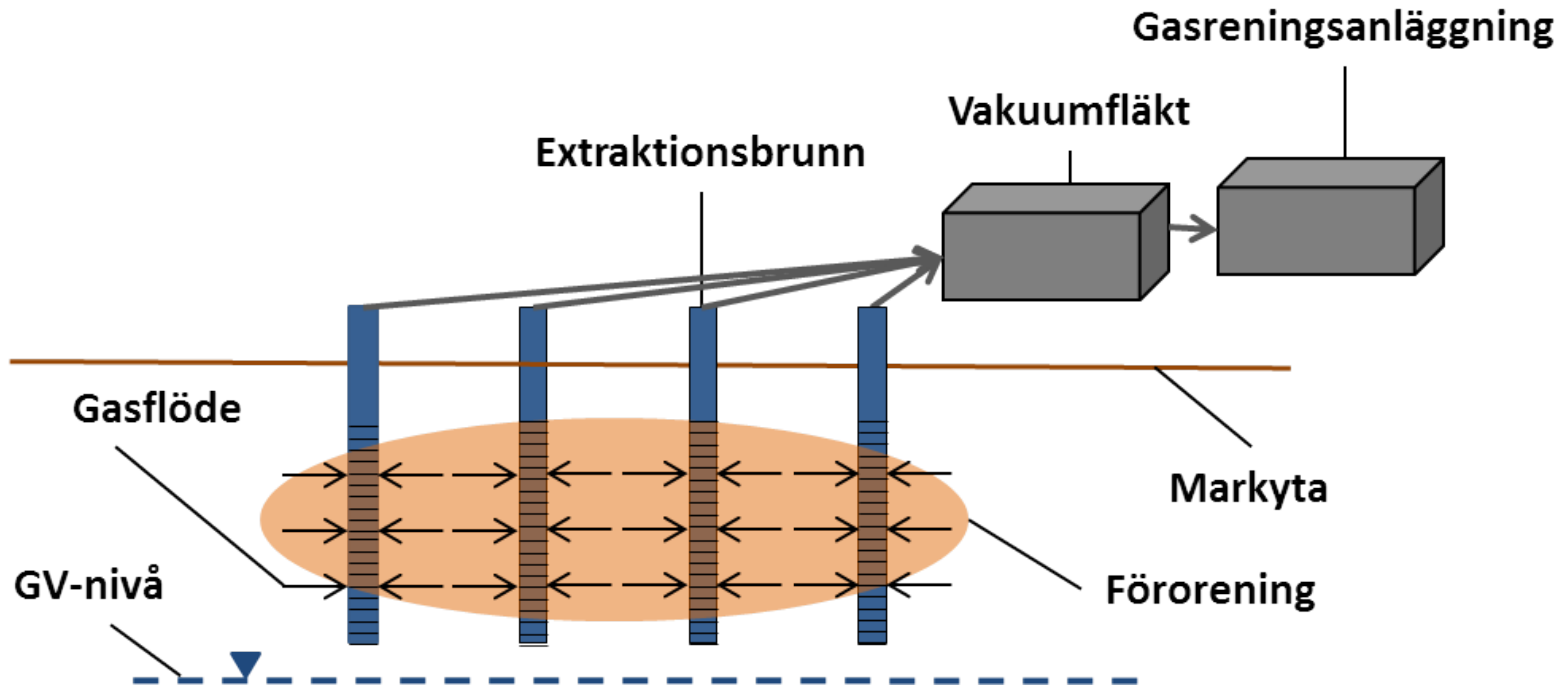
Porgasextraktion

Vanligt förekommande metod för att åtgärda föroreningar av flyktiga organiska ämnen (VOC) i jord ovanför grundvattenytan. Porgas från omättad zon extraheras via en eller flera extraktionsbrunnar. I områden där grundvattenytan ligger högt kan horisontella gasdräneringsrör ("gasdräner") användas som alternativ till vertikala extraktionsbrunnar. Gasextraktionen utförs med hjälp av en eller flera vakuumpumpar/fläktar placerade ovanför markytan. Extraherad porgas renas på platsen.

Lämplig för:

jord som förorenats av drivmedel/bränslen och organiska lösningsmedel med högt innehåll av VOC, efterbehandling av förorenade bensinstationer och drivmedelsförorenad jord på platser där konventionella gräv- och schaktmetoder är svåra att tillämpa. Källzoner i omättad zon och plumbehandling i omättad zon, t ex för att motverka inträngning av VOC via ledningsbäddar och husgrunder.

Porgasextraktion



In situ

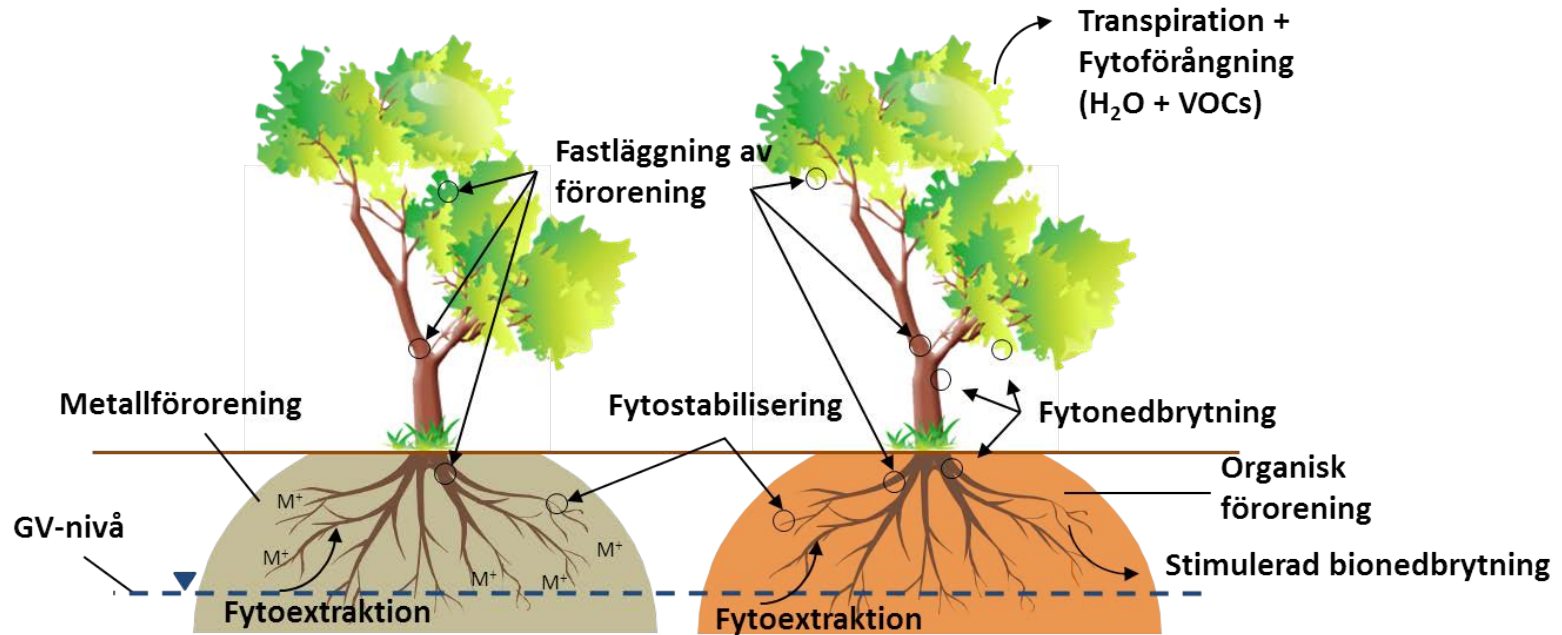
Fytoremediering

Vid fytoextraktion extraheras föroreningen ur jorden eller grundvattnet via växtens rotsystem. Därefter transporteras den till växtens ovanjordsdel där den ackumuleras eller långsamt bryts ned i biomassan. När föroreningen utgörs av metaller eller svårnedbrytbara organiska ämnen måste växterna med jämna mellanrum skördas eller klippas. Biomassan kan därefter vidarebehandlas genom t.ex. kompostering eller förbränning. Förbrännings- eller kompostresten då omhändertas vidare. Vid **fyto stabilisering** binds eller fixeras föroreningen av växtens rotsystem och det organiska material som finns i anslutning till rotzonen.

Lämplig för:

Metaller, pesticider, explosivämnen, klorerade lösningsmedel och lättflyktiga petroleumföroreningar. Metoden fungerar bäst när föroreningshalterna är måttliga.

Fytoremediering



In situ

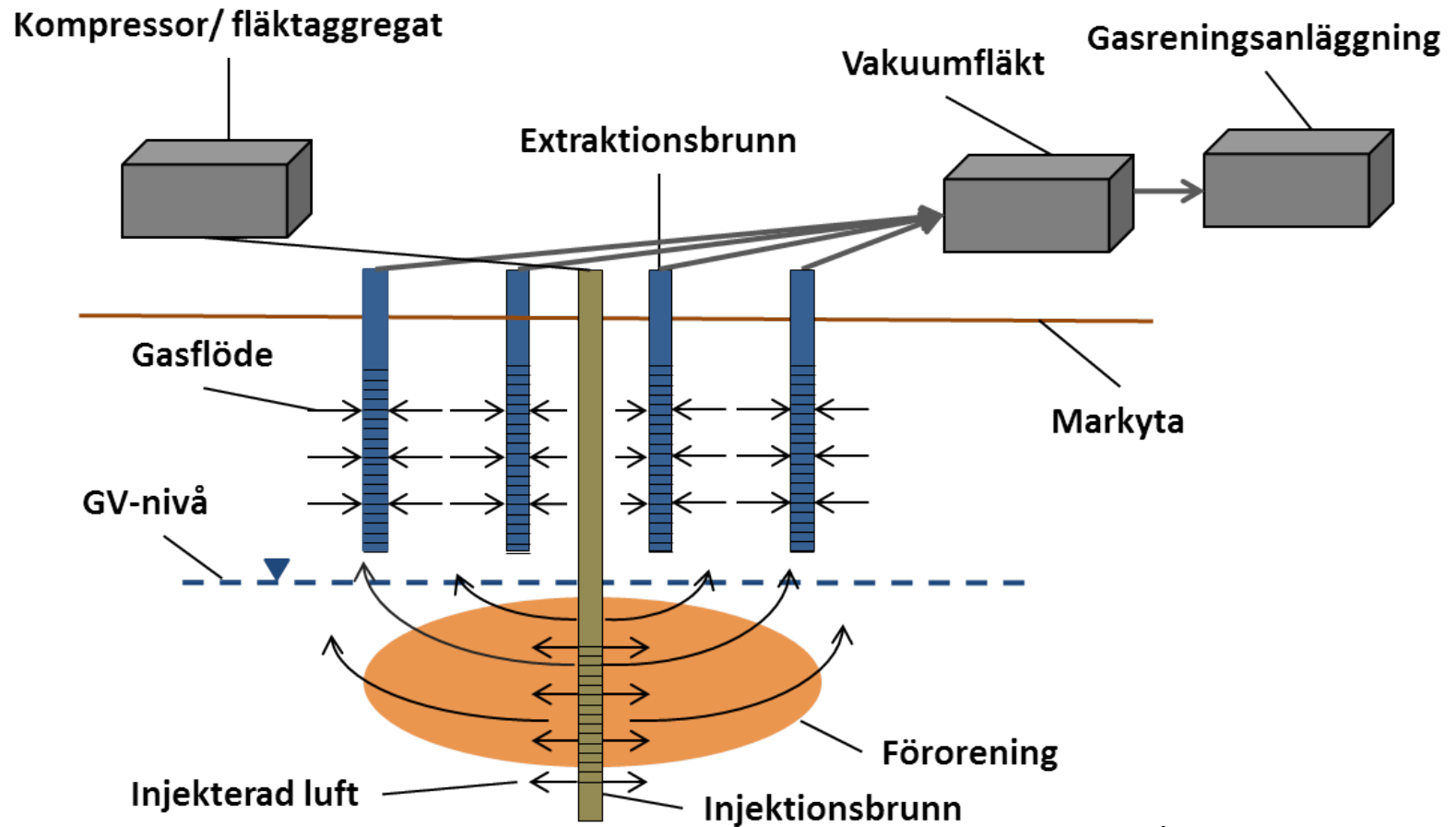
Air sparging

Stora volymer luft injekteras i rör av stål eller plast ner med perforering under grundvattenytan. Den injekterade luften strömmar radiellt ut från injekteringsnivån. VOC som föreligger i fri fas, lösta i grundvattenzonen eller bundna till jordpartiklar frigörs och avgår i gasfas till den omättade zonen (ovanför grundvattenytan), där den avdrivna gasfasen vanligtvis samlas upp med hjälp av porgasextraktion och därefter renas.

Lämplig för:

In situ-behandling av grundvatten som förorenats av petroleumkolväten med hög andel flyktiga kolväten, som t.ex. spill/föroreningar av bensin, flygdrivmedel och lättare dieselbrännolja. Metoden är även tillämpbar för behandling av klorerade lösningsmedel och andra lättflyktiga kolväten.

Air sparging



In situ

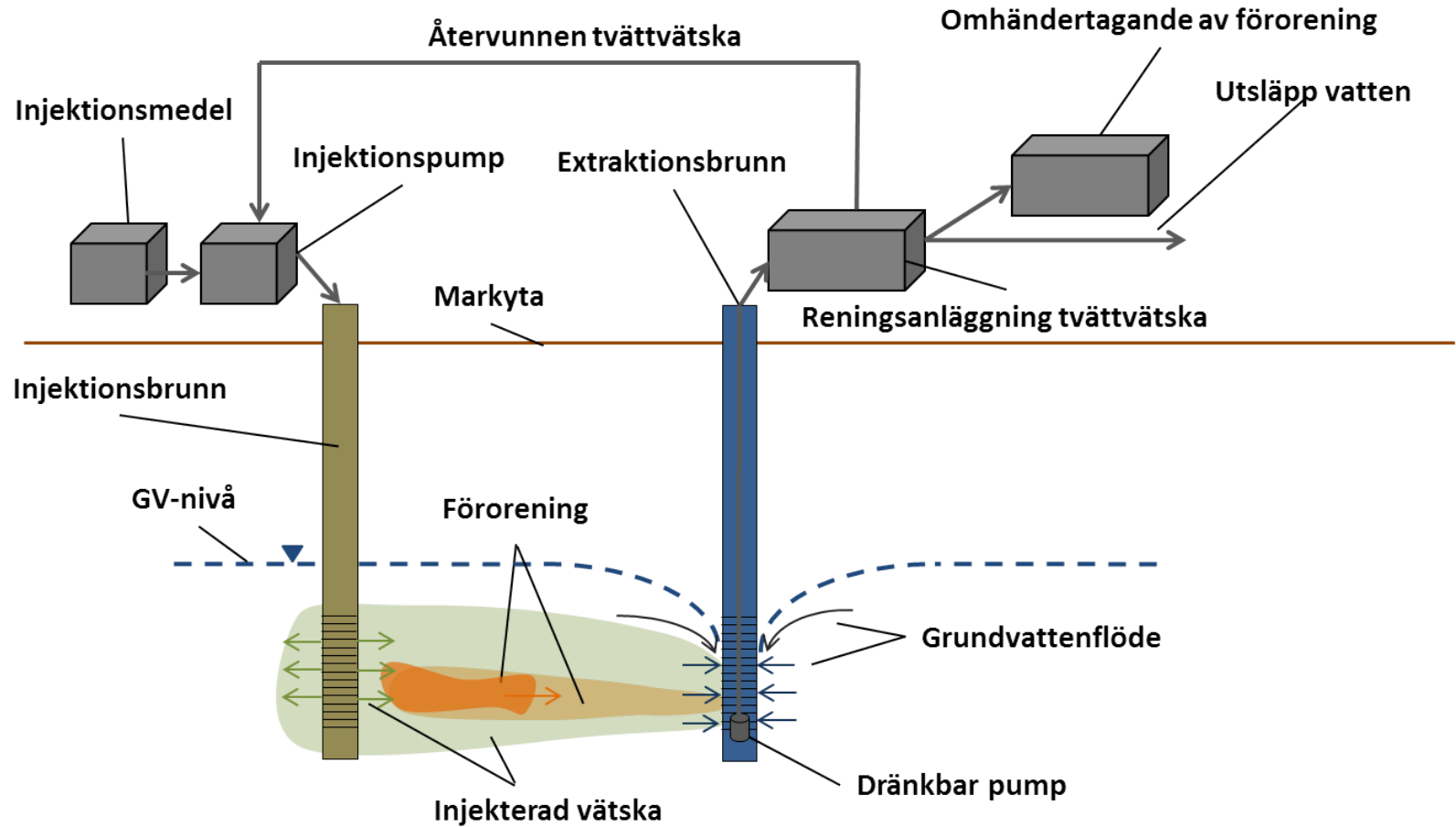
Jordtvätt

Stora volymer luft injekteras i rör av stål eller plast ner med perforering under grundvattenytan. Den injekterade luften strömmar radiellt ut från injekteringsnivån. VOC som föreligger i fri fas, lösta i grundvattenzonen eller bundna till jordpartiklar frigörs och avgår i gasfas till den omättade zonen (ovanför grundvattenytan), där den avdrivna gasfasen vanligtvis samlas upp med hjälp av porgasextraktion och därefter renas.

Lämplig för:

Metoden tillämpas främst i permeabla jordar (sand/grus) för behandling av organiska föroreningar som föreligger i fri fas och/eller bundna till jordpartiklar. Metoden används även för behandling av metallförorenad jord. Metoden kan användas både i mättad och omättad zon. Tillämpning i berggrund förekommer.

Jordtvätt



In situ

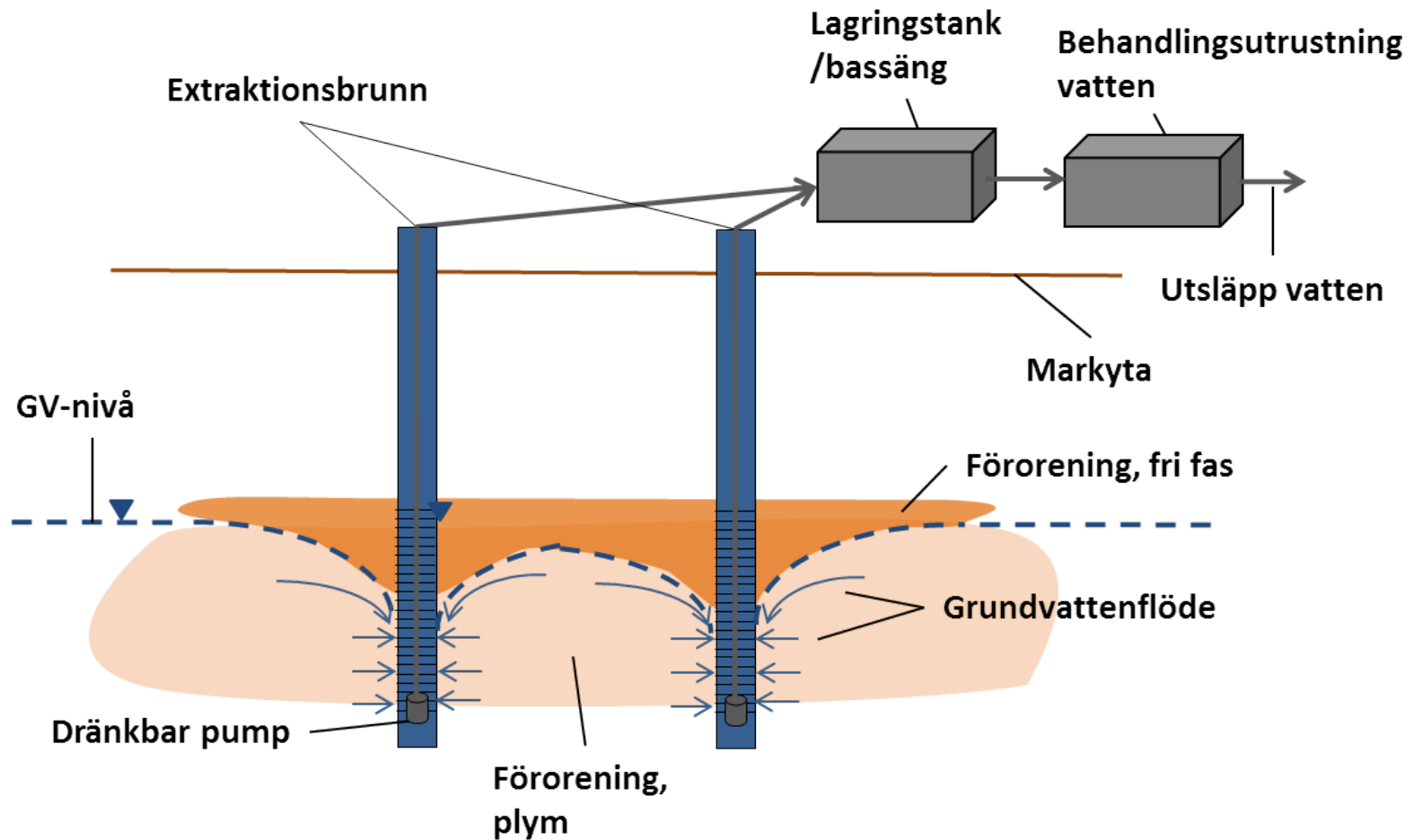
Grundvattenpumpning/behandling

Via brunnar pumpas det förorenade grundvattnet upp för behandling. Vanligen används dränkbar pump i källzonen eller föroreningsplymen. Vanligt förekommande reningstekniker är olika filtreringstekniker som t.ex. kolfilterrening, nano- och ultrafiltrering och omvänd osmos. En annan vanlig behandlingsteknik är stripping för VOC.

Lämplig för:

Grundvatten som förorenats av LNAPLs, t.ex. oljekolväten men även övriga lösta föroreningar i grundvatten t.ex. klorerade lösningsmedel och metallförorenat grundvatten. LNAPLs kan behandlas i både källzon och spridningsplym. Med hjälp av skimmer/sugpump kan även förorening i fri fas på grundvattenytan extraheras. Metoden har emellertid visat sig vara relativt ineffektiv som massreduktionsmetod vid behandling av DNAPLs.

Grundvattenpumpning/behandling



In situ

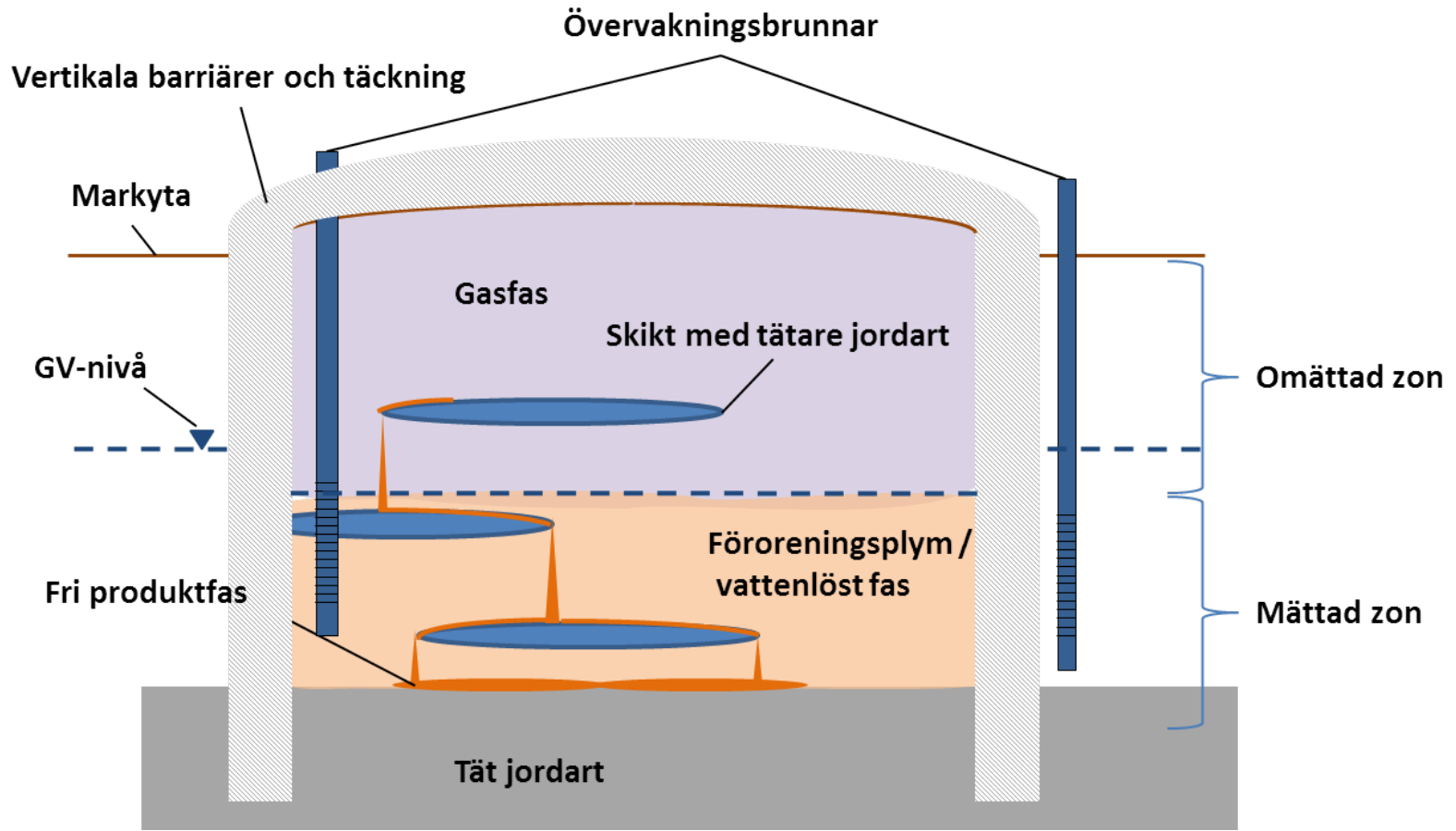
Inneslutning/barriärteknik

Fysisk inneslutning med barriärteknik är en spridningsbegränsande metod som innebär att en jordförorening helt eller delvis inkapslas med täta/lågpermeabla barriärmaterial, varvid utlakningen och spridningen av föroreningsämnen från jordföroreningen till omgivande mark- och vattenområden minskar eller helt upphör.

Lämplig för:

Metoden är tillämpbar på i stort sett samtliga föroreningstyper. Tillämpas i första hand där andra lämpliga behandlingsmöjligheter saknas, eller vid föroreningssituationer där skyddsobjekt (t.ex. bostäder, vattentäcker, känsliga ytvattenrecipienter) är hotade och andra efterbehandlingsmetoder inte kan sättas in tillräckligt snabbt för att avvärja en akut hälso- eller miljöpåverkan.

Inneslutning





In situ

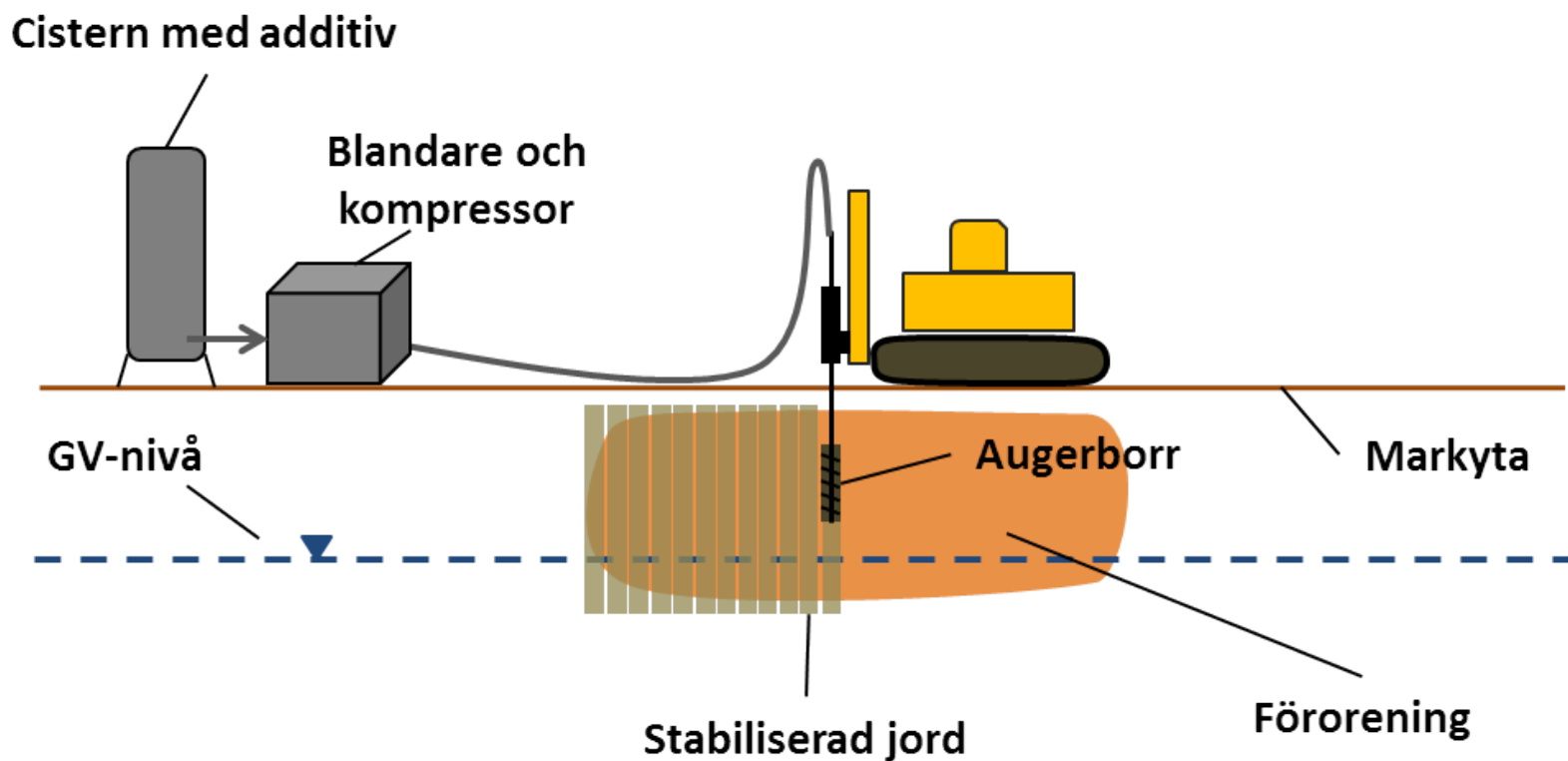
Stabilisering/solidifiering

Solidifiering innebär att föroreningen inkapslas i eller injekteras med material med låg permeabilitet, t.ex. betong, bentonit eller andra barriärmaterial. Vid solidifiering påverkas i regel inte föroreningens kemiska form eller sammansättning. Inkapslingen av föroreningen motverkar spridningen av föroreningar från det förorenade materialet.

Lämplig för:

Stabilisering och solidifiering har historiskt sett i huvudsak använts för behandling av oorganiska föroreningsämnen, främst metaller. I USA är metoden relativt vanliga även vid behandling av persistenta och icke-flyktiga organiska ämnen som t.ex. PCB, PAH och halogenerade pesticider. Metoden tillämpas i första hand på källzoner, för att reducera eller stoppa en pågående förorenings-spridning.

Stabilisering/solidifiering





In situ

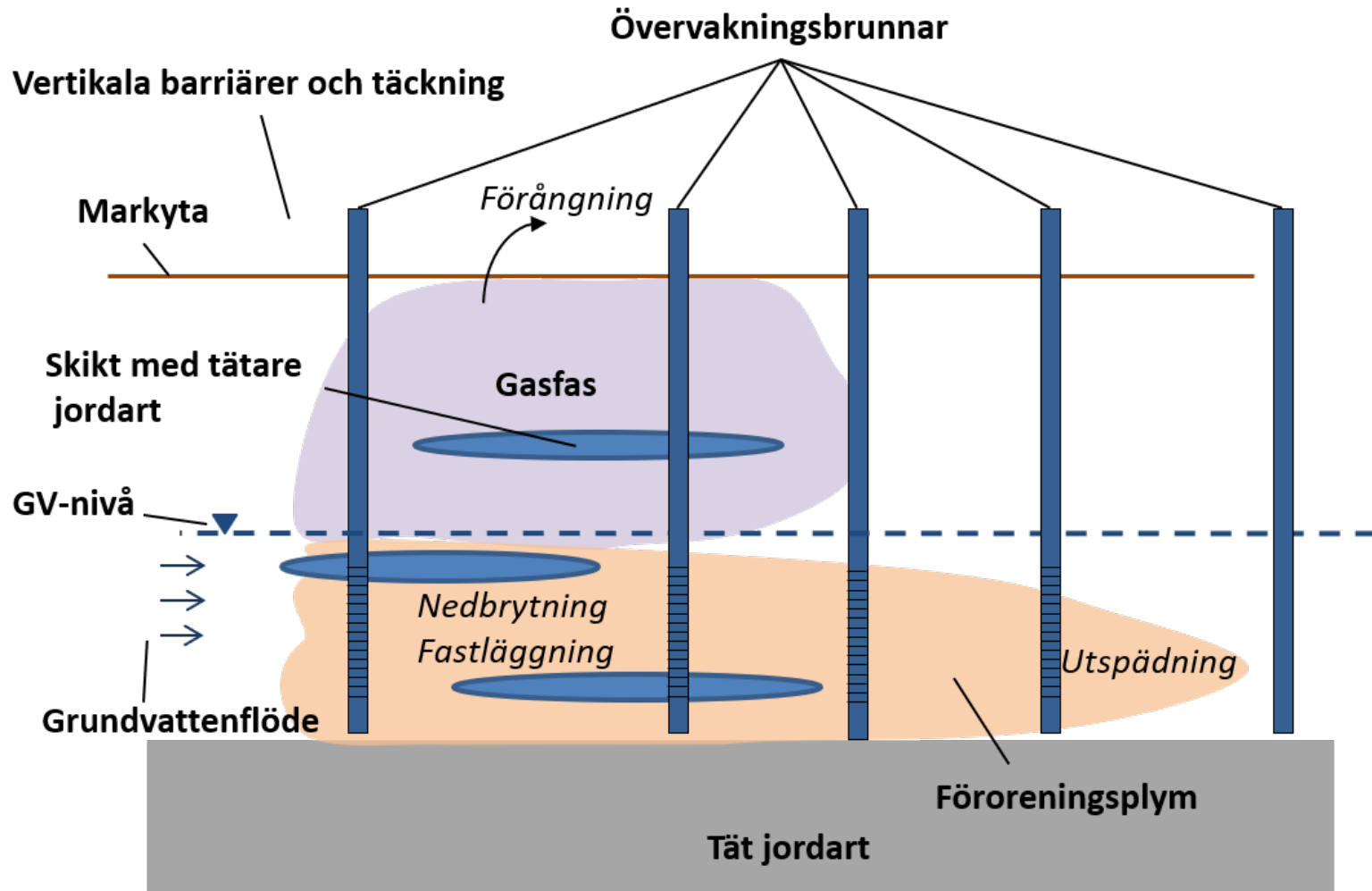
Övervakad naturlig självrening

En rad naturligt förekommande processer som under rätt betingelser reducerar föroreningsinnehållet i jord och grundvatten. Biologisk nedbrytning utgör i allmänhet den dominerande processen. Andra processer som medverkar till att föroreningshalterna i jord och/eller grundvatten reduceras är fastläggning, utspädning och förångning.

Lämplig för:

Främst för behandling av restföroreningar i grundvattenzonen. Metoden kan också tillämpas för behandling av spridningsplymer med låga eller måttliga föroreningshalter, och under förutsättning att aktiva åtgärdsinsatser inte bedöms vara tillämpbara. Exempel på föroreningar som kan komma ifråga för övervakad naturlig självrening är metallföroreningar, flyktiga petroleumkolväten och klorerade lösningsmedel.

Övervakad naturlig självrening



In situ

Kemisk oxidation

Oxidationsmedlet tillförs det förorenade området via brunnar eller genom direktinjektering. Relativt snabb, >dagar upp till en månad. Vid fullständig kemisk oxidation bildas koldioxid och vatten som slutprodukter. Vanligaste oxidationsmedlen är kalium- och natriumpermanganat, Fentons reagens (väteperoxid med tvåvärt järn), ozon och persulfat.

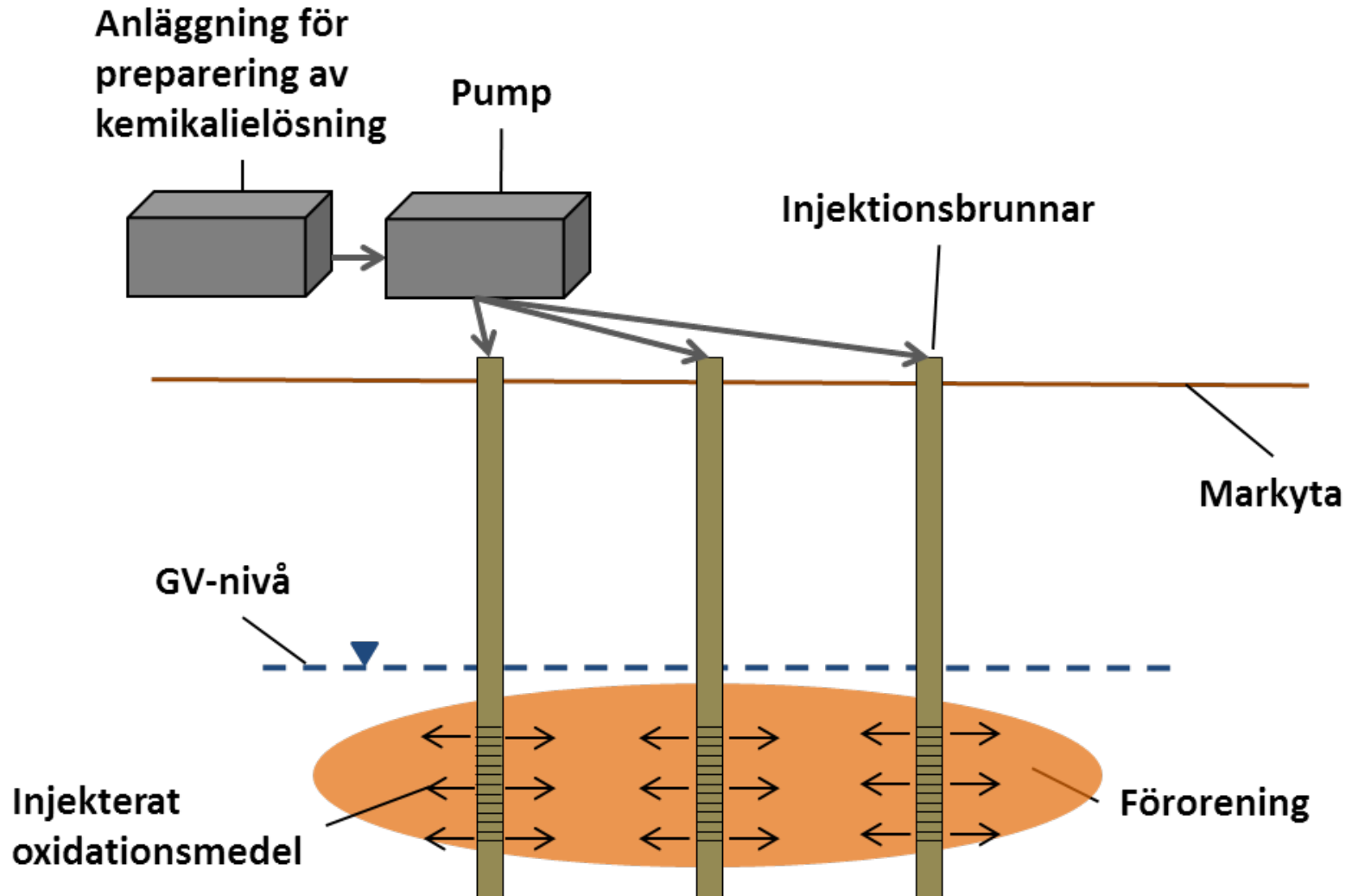
Lämplig för:

I stort sett alla grupper av organiska föroreningsämnen ffa i källzoner under grundvattennivån som t.ex. halogenerade lösningsmedel, klorfenoler, oljekolväten och PAH.

Inte lämplig för:

Perfluorerade ämnen (PFOS, PFOA m.fl.) och PCB,

Kemisk oxidation





In situ

Kemisk reduktion

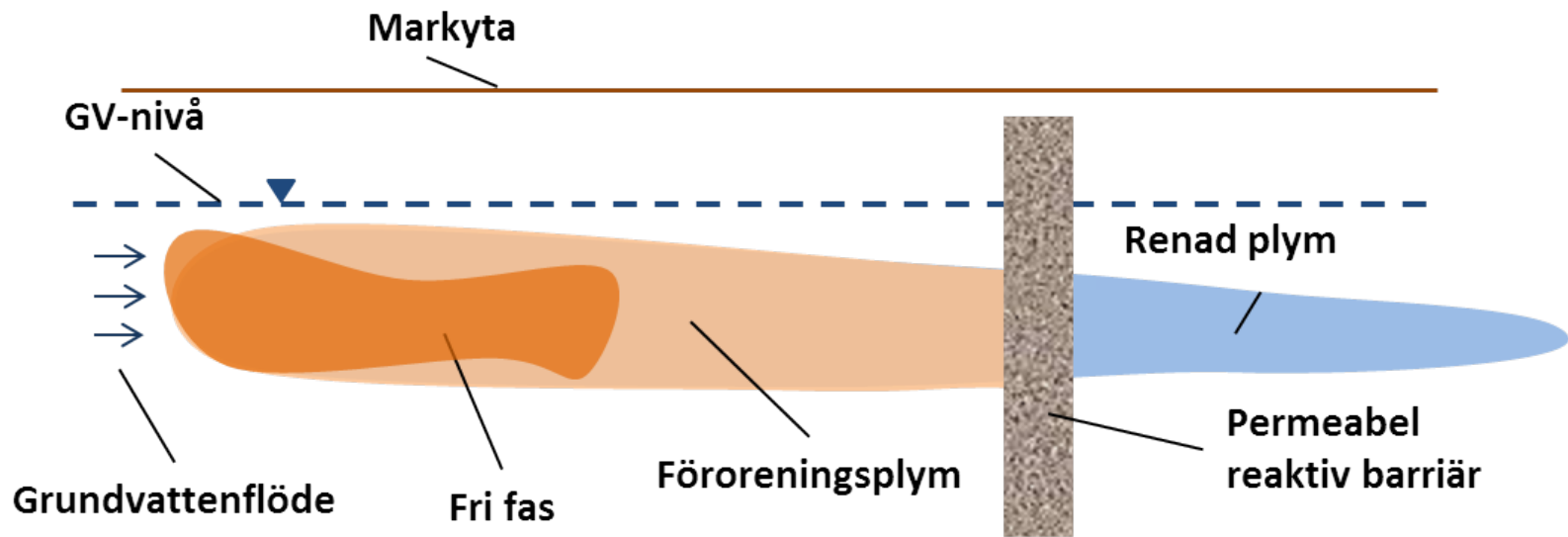
Reduktionsmedel tillförs direkt till det förorenade området. Reducerande processer i jord- och grundvattensystemet bryter ned/omvandlar föroeningen till mindre toxiska och i vissa fall mindre spridningsbenägna nedbrytningsprodukter.

Direktinjektering (t.ex. genom soil mixing) eller i form av en permeabel reaktiv barriär (PRB) genom vilken det förorenade grundvattnet får passera.

Lämplig för:

Organiska föroreningsämnen lösta i grundvatten t.ex. klorerade alifater. Metoden kan också tillämpas för reduktion och fällning av sexvärt krom, eller för behandling av klorerade fenoler.

Kemisk reduktion (PRB)



In situ

Biologisk behandling (stimulerad bionedbrytning)

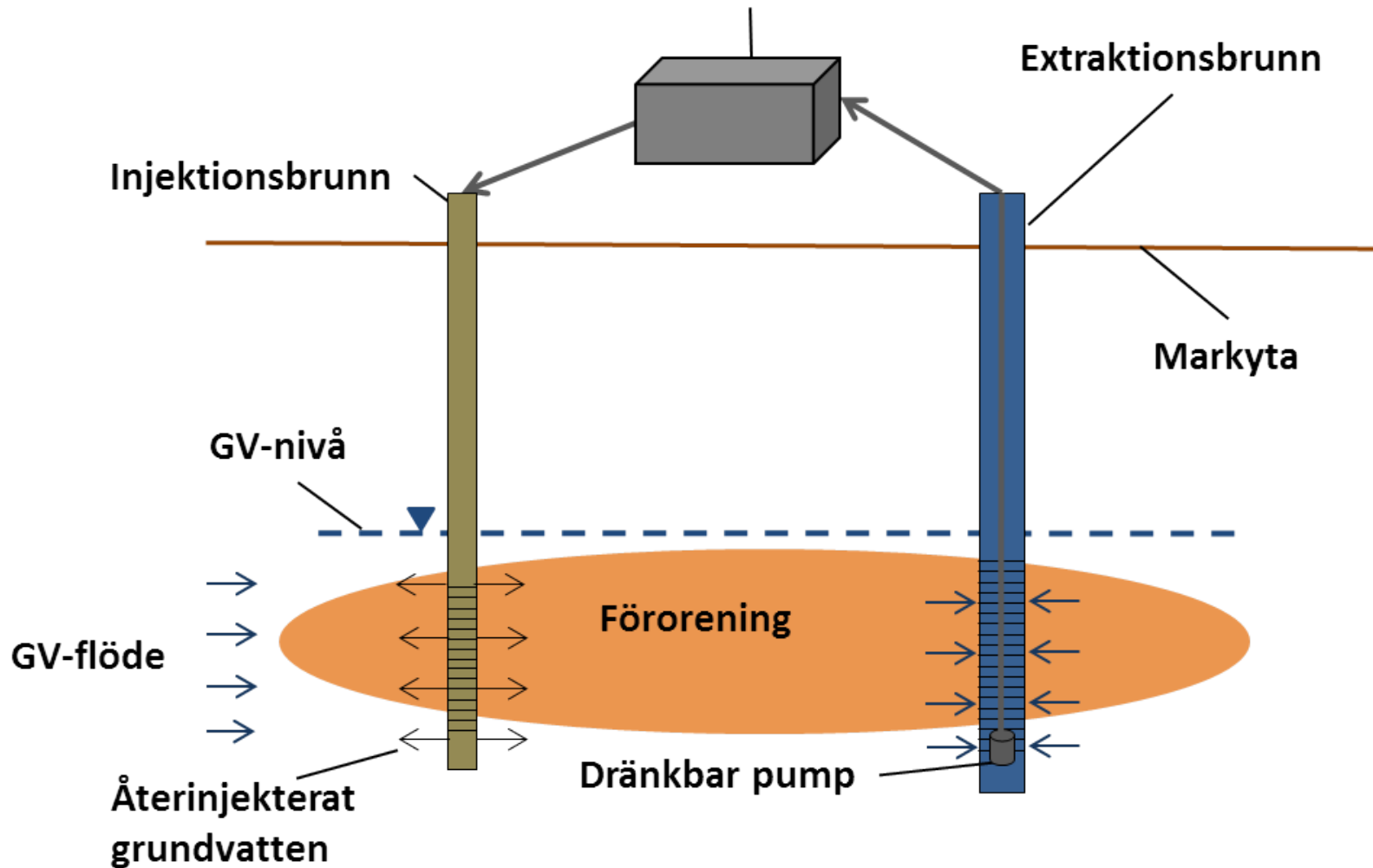
Biologisk behandling är baserad på att mikroorganismer, främst bakterier, hjälper till att bryta ner organiska föroreningar. Vid biologisk behandling tillförs näringsämnen, lämplig elektronacceptor (syre, nitrat, sulfat m.fl.) och i vissa fall kolkälla och mikroorganismer/bakterier till det förorenade området. Närings- och bakterielösningar kan tillföras via injektionsbrunnar eller genom direktinjektering.

Lämplig för:

Behandling av jord, sediment och grundvatten som förorenats av petroleumkolväten, klorerade lösningsmedel, klorfenoler och andra organiska föroreningsämnen. Metoden kan tillämpas både över och under grundvattennivån, och fungerar bäst vid relativt genomsläppliga jordlagerförhållanden där tillförda substrat kan fördelas någorlunda homogent och komma i kontakt med föroreningarna. Lämplig för behandling av föroreningsplymer med måttliga föroreningshalter.

Biologisk behandling

Anläggning för Inblandning av kolkälla, näringsämnen, mikroorganismer



In situ

Flerfasextraktion

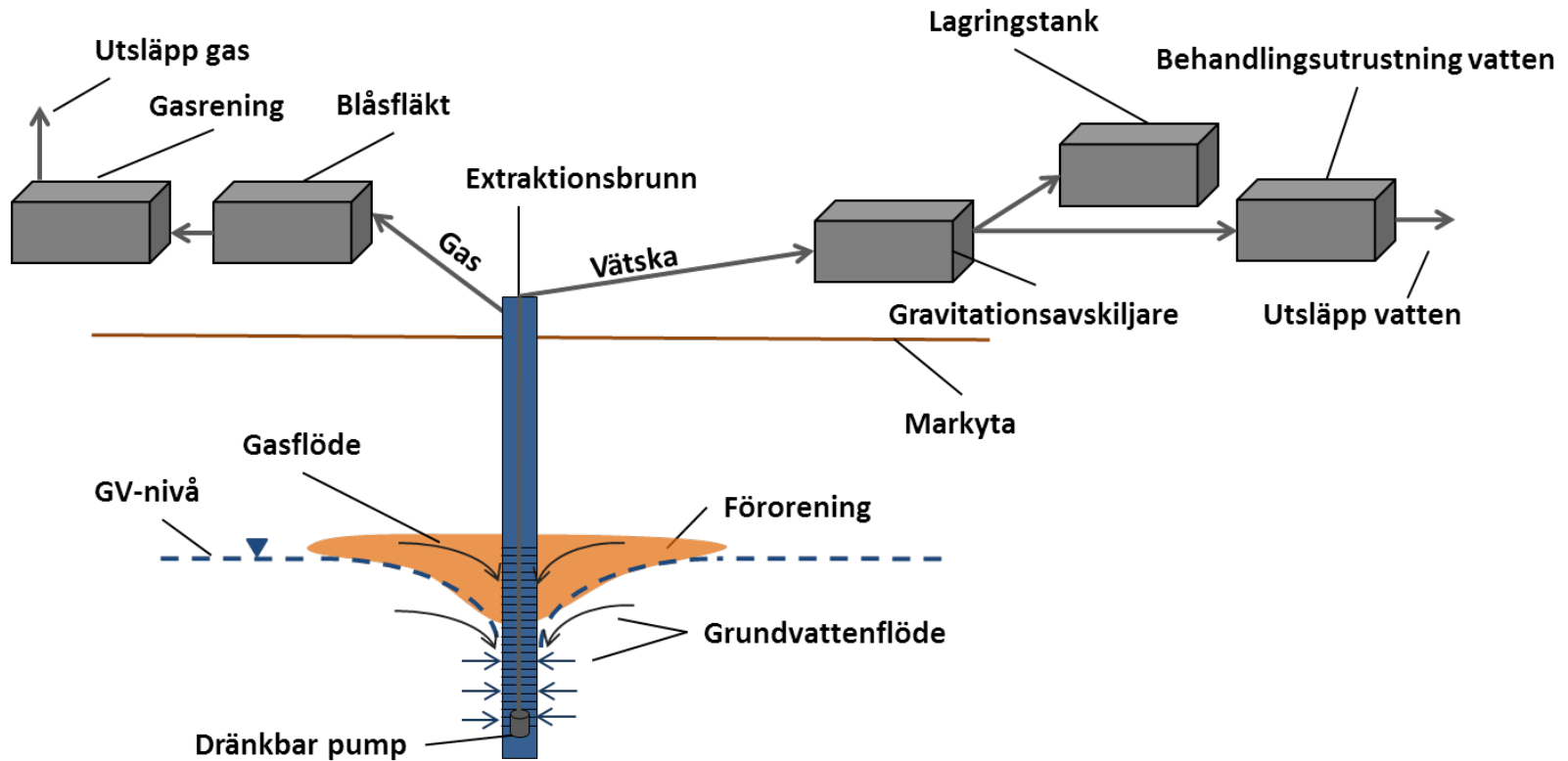
Föroreningar i flera faser - gasfas, vattenlöslig fas och fri produktfas – omhändertas i ett och samma behandlingskoncept.

Extraktion av fri fas, vattenlösliga föroreningar och kolväten i gasfas genom vakuumextraktion i en och samma extraktionsbrunn. Skillnaden mot konventionell porgasextraktion är att brunnarna är installerade under grundvattenytan och att ett kraftigare undertryck tillämpas för att även kunna extrahera vätska och fri produktfas.

Lämplig för:

Efterbehandling av oljeförorenade områden med en blandning av fri fas, flyktiga kolväten och förorening i vattenlöslig fas. Även vid behandling av jord- och grundvattenföroreningar med innehåll av klorerade lösningsmedel. Metoden är särskilt väl lämpad för behandling av kolväteföroreningar i zonen strax ovanför grundvattenytan.

Flerfasextraktion



Ex situ

Schaktsanering

Förorenade jordmassor och i vissa fall även avfall/restprodukter grävs bort med konventionell schaktutrustning. Uppgrävda förorenade massor kan antingen behandlas på platse (on site) eller transporteras till extern mottagningsanläggning för behandling och/eller deponering. Exempel på vanligt förekommande behandlings- och omhändertagandemetoder för förorenade massor är mekanisk sortering, jordtvättning, biologisk nedbrytning, termisk behandling och inneslutning/deponering.

Lämplig för:

Alla typer av organiska och oorganiska föroreningsämnen. Metoden är bäst lämpad för behandling av källzoner med koncentrerade förekomster av förorenad jord. Metoden kan tillämpas både ovanför och under grundvattennivån. Vid schaktsanering under grundvattennivån krävs i allmänhet kompletterande reningsutrustning för att omhänderta det förorenade vatten som erhålls i samband med läns-pumpning.

Ex situ

Jordtvätt

Vätska (vanligen vatten), ibland i kombination med kemiska tillsatser/additiv, används för att i olika behandlingssteg separera högförorenat från lågförorenat material. Behandlingsstegen kan bl.a. utgöras av

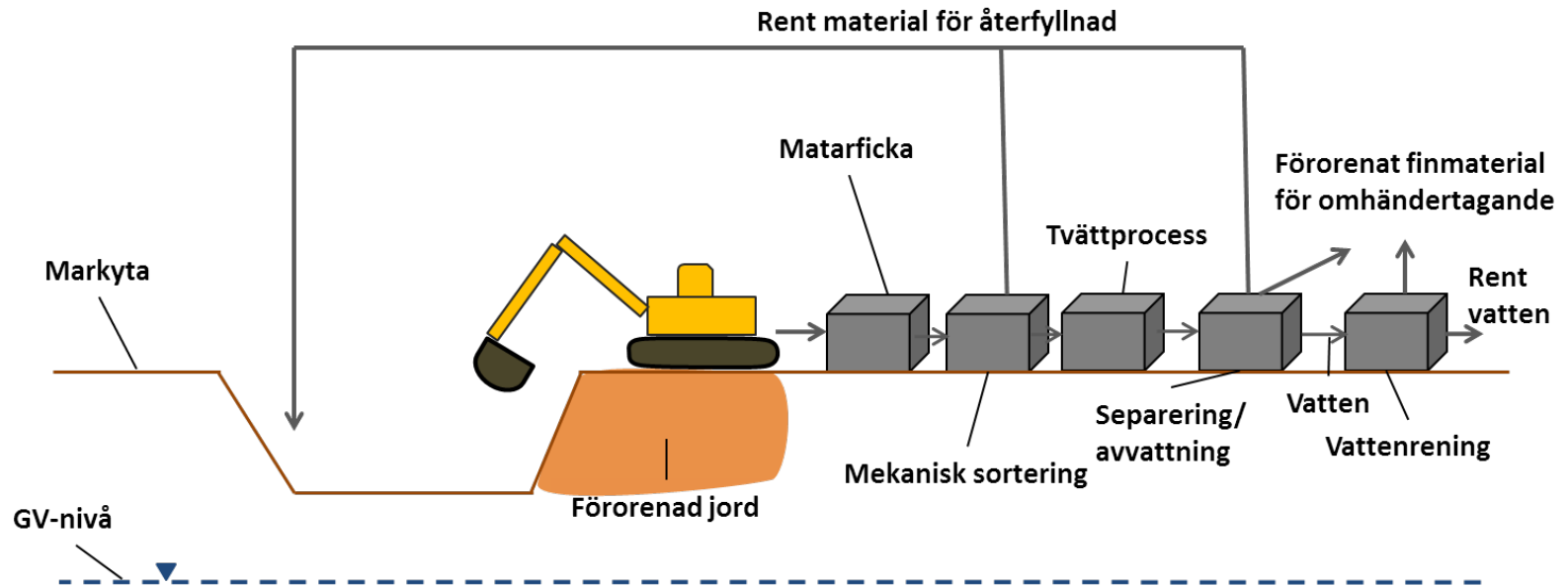
- torr- och våtsiktning för separation av förorenade ler- och siltpartiklar från grövre okontaminerat jordmaterial,
- gravimetrisk avskiljning av tyngre partikelbundna föroreningar med hjälp av hydrocykloner och skakbord,
- avvattning med hjälp av kammarfilter- eller silbandspress.

Andra vanligt förekommande processer är sedimentation, flotation, flockning och skrubbing av partiklar/korn i s.k. skrubberkvarn.

Lämplig för:

Metaller och andra oorganiska jord- eller sedimentföroreningar. Även tyngre organiska ämnen som i hög grad binder till ler- och siltpartiklar – t.ex. PCB, dioxiner och PAH – samt PFOS. Lämpar sig bäst för relativt homogena jordar där innehållet av lera och silt är lågt. Jorden bör heller inte ha ett alltför högt innehåll av organisk substans.

Jordtvätt



Ex situ

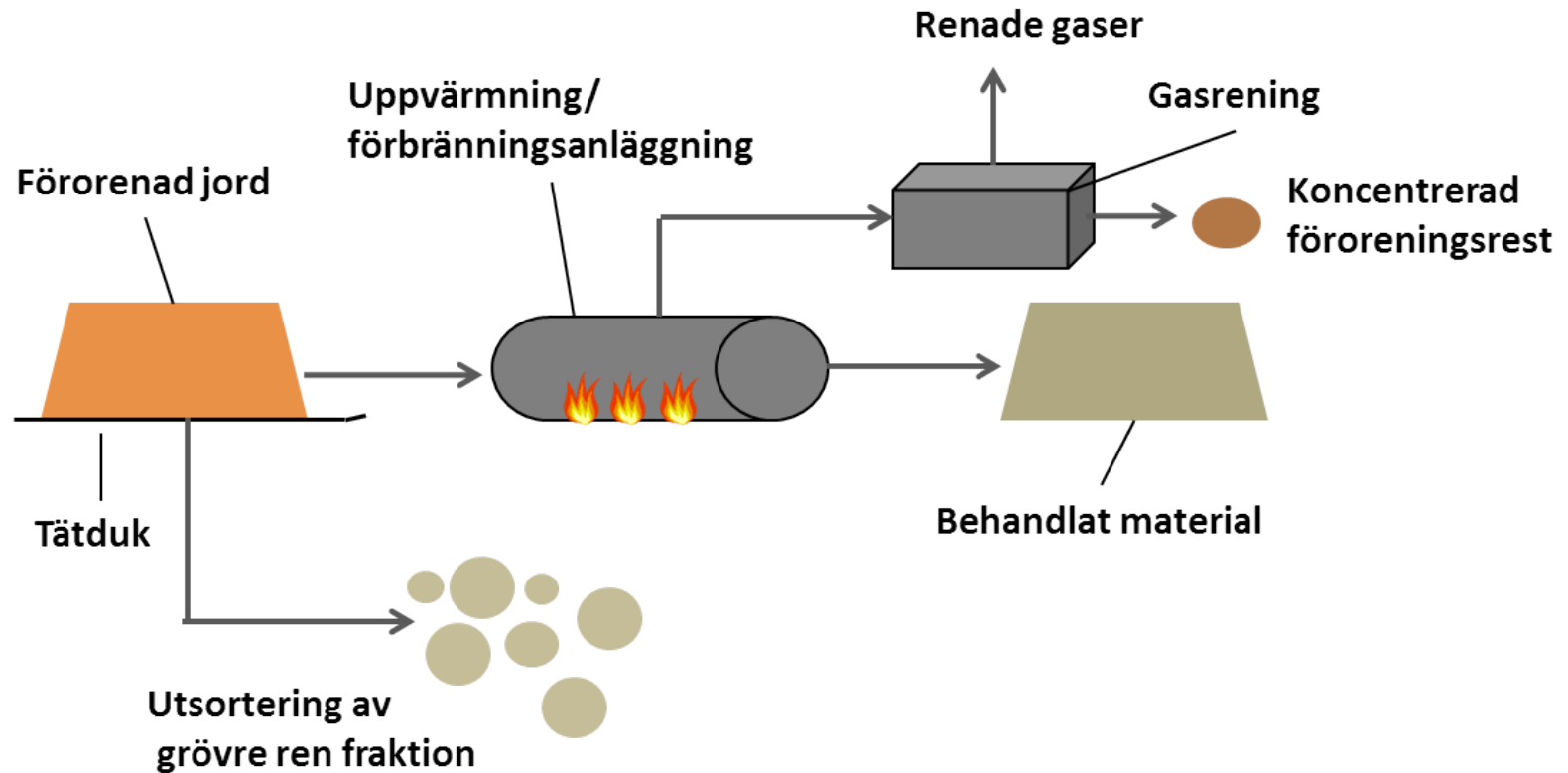
Termisk behandling

Flyktiga föroreningar drivs av från de förorenade massorna genom förångning till följd av uppvärmning. De avdrivna gaserna behandlas i efterföljande steg, t.ex. genom förbränning i efterbrännkammare eller fastläggning i filter. Massorna behandlas i en anläggning som värmer upp massorna, i allmänhet inom temperaturintervallet 100-800 °C. Mobila anläggningar för termisk avdrivning finns, men i Sverige är termisk jordbehandling vid stationära anläggningar vanligast.

Lämplig för:

Flertalet kända organiska föroreningar i jord, avfall och sediment. VOC som t.ex. klorerade lösningsmedel och enkla alifater/monoaromater förångas vid förhållandevis låg temperatur (50-150 °C). Tyngre organiska föreningar kräver uppvärmning till högre temperatur. Vid temperaturintervallet 100-800 °C. kan även högmolekylära organiska föreningar som t.ex. PAH, PCB, PFAS och flertalet organiska pesticider förångas. Termisk behandling kan även användas för att avdriva kvicksilver, arsenik och vissa metallorganiska föreningar.

Termisk behandling



Sediment

In Situ

AC-baserad tunnskiktsövertäckning

Förstärkt övervakad naturlig självrening -FÖNS

Isolationsövertäckning

Klassisk in situ behandling

Övervakad naturlig självrening - ÖNS

Ex Situ

Muddring

In situ

AC-baserad tunnskiktsövertäckning

Ett skikt med starkt adsorberande aktivt kol sprids ut över de förorenade sedimenten. Det aktiva kolet blandas därefter ned i den biologiskt aktiva zonen genom naturlig omblandning (bioturbation).

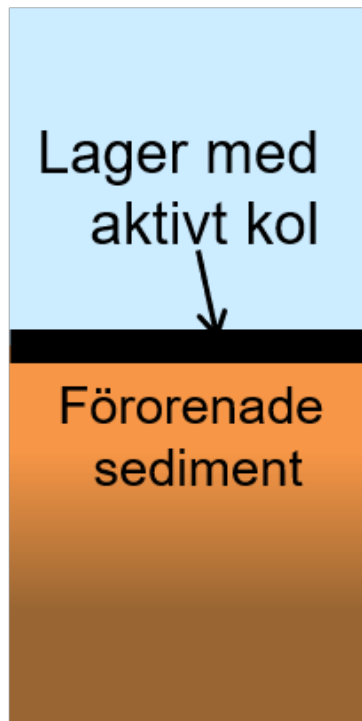
Lämplig för:

PCB, PAH, dioxiner/furaner, TBT och metylkvicksilver, vissa metaller som t.ex. kvicksilver.

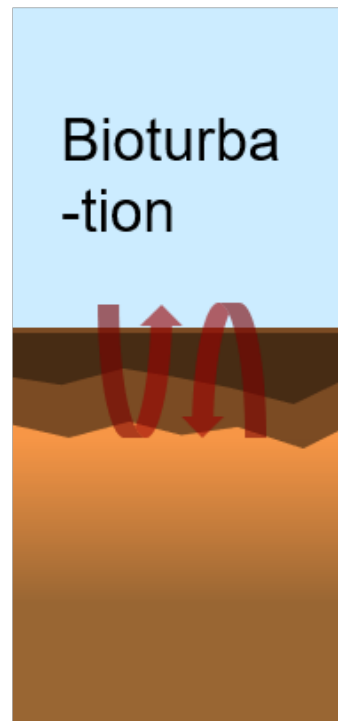
Inte lämplig för:

Fri fas av organiska föroreningar med begränsad vattenlöslighet (NAPL) som t.ex. olja eller kreosotolja.

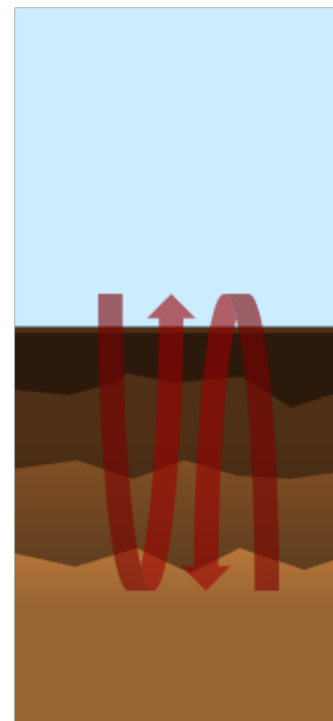
Vid åtgärd



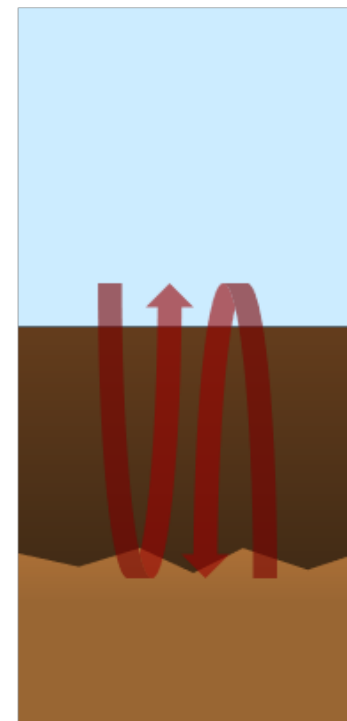
Veckor till månader



Månader-år



Flera år



In situ

Förstärkt övervakad naturlig självrening -FÖNS

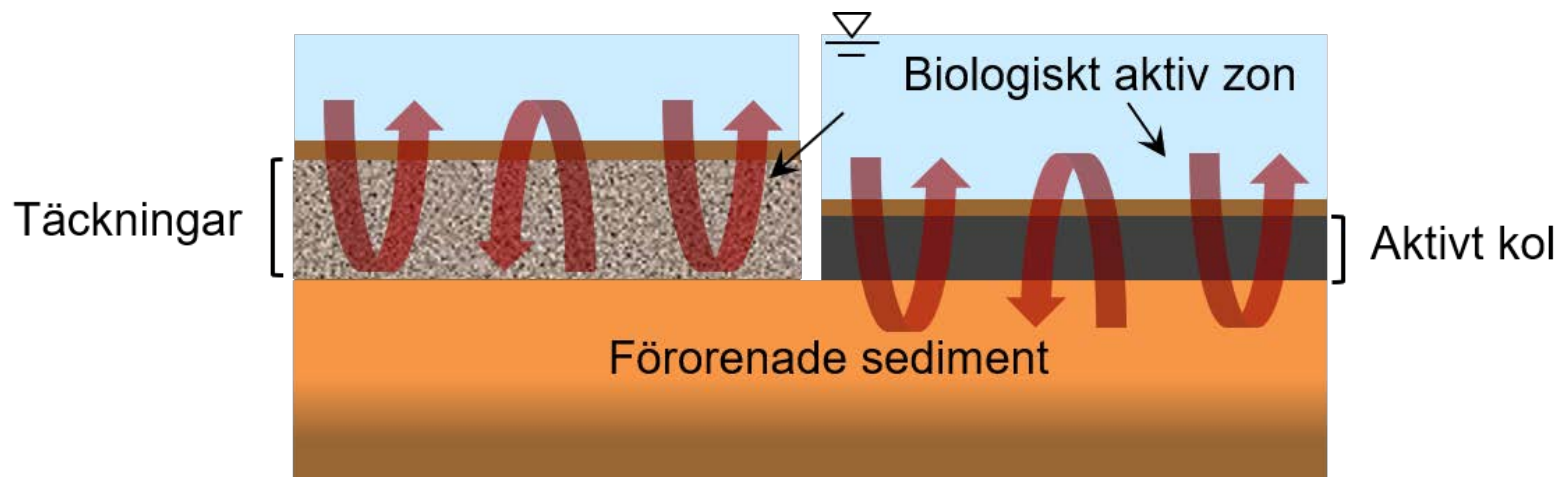
Ett relativt tunt lager av konventionella material (exempelvis sand) placeras ut ovanpå de förorenade sedimenten. Detta skiljer metoden från övervakad naturlig självrening (ÖNS), där översedimenteringen sker på naturlig väg.

Lämplig för:

- Ämnen som inte bioackumuleras och/eller som snabbt bryts ner och metaller som bildar stabila komplex i anaeroba sediment. Låg molekylära PAH och zink- och kvicksilversulfider.
- PCB, PAH, DDT/DDE, dioxiner, furaner, metylkvicksilver, kvicksilver och andra tungmetaller.

Inte lämplig för:

Fri fas av (NAPL) som t.ex. olja eller kreosotolja.



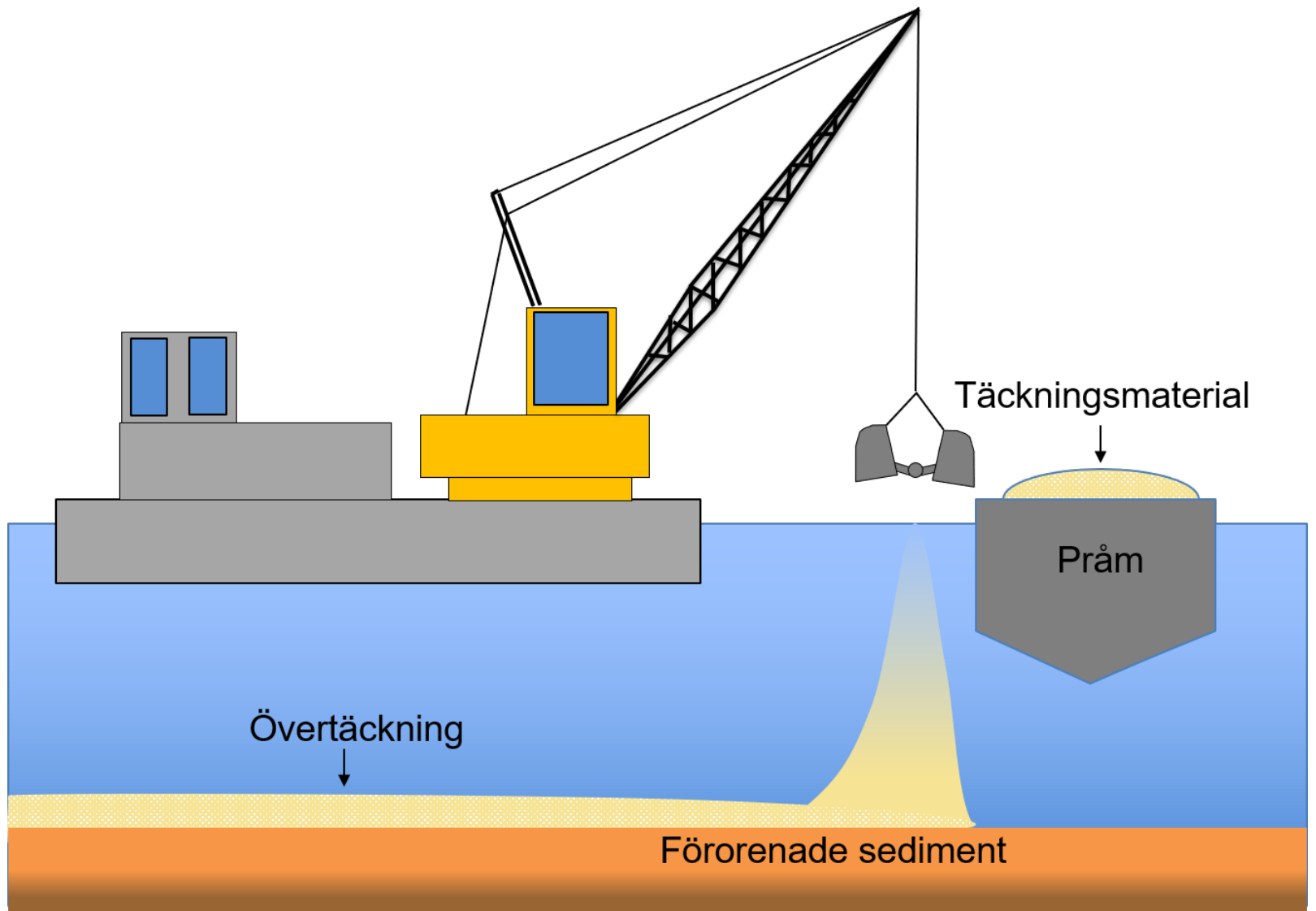
In situ

Isolationsövertäckning

Ett eller flera lager rent material läggs över förorenade sediment för att fysiskt och kemiskt isolera föroreningar för att undvika att organismer exponeras samt att minska erosion och spridning av förorenade sediment.

Lämplig för:

Olika föroreningar i löst fas, inklusive organiska, metallorganiska och metallföroreningar, såväl som fri fas av organiska föroreningar med begränsad vattenlöslighet (Non-aqueous phase liquids, NAPL).





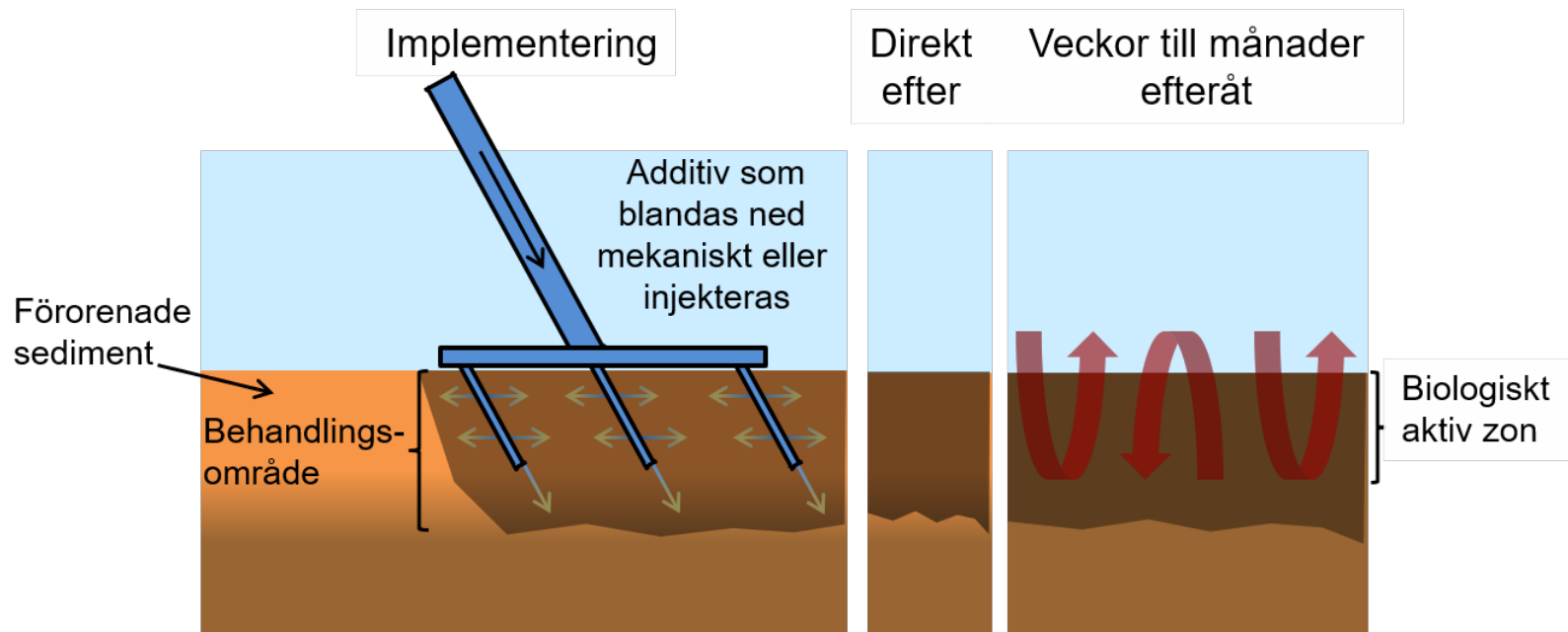
In situ

Klassisk in-situ behandling

Flera olika metoder med den gemensamma nämnaren att ett eller flera typer av additiv mekaniskt injekteras eller blandas ner i ytan på förorenade sediment.

Lämplig för:

En rad olika organiska och metalliska sedimentföroreningar i löst fas och möjligen även behandling av fri fas av organiska föroreningar med begränsad vattenlöslighet (NAPL) som t.ex. olja eller kreosotolja.



In situ

Övervakad naturlig självrening

Under övervakning får de förorenade sedimenten ligga kvar på botten. Naturliga processer medverkar till att föroreningshalterna minskar och binds över tid för att reduceras till en acceptabel nivå (t.ex. ett riskbaserat åtgärds mål). Den dominerande processen för att uppnå åtgärds målen är ofta översedimentering

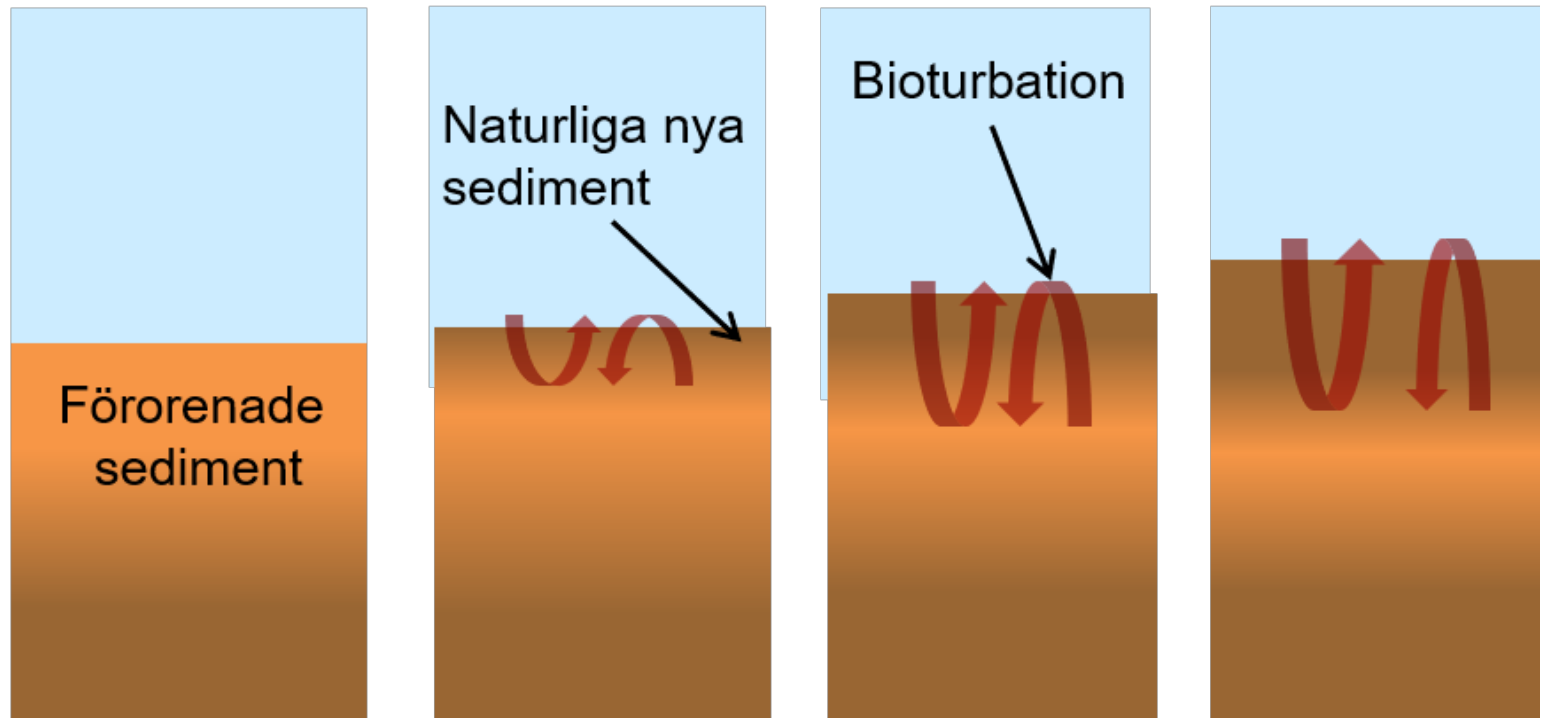
Lämplig för:

Organiska ämnen som inte bioackumuleras och/eller som snabbt bryts ner och metaller som bildar stabila komplex i anaeroba sediment tex. kortare PAH och zink- och kvicksilversulfider. Även svårnedbrytbara och bioackumerande bundna organiska, metallorganiska och metalliska sedimentföroreningar, såsom PCB, PAH, DDT/DDE, dioxiner, furaner, metylkvicksilver, kvicksilver och andra tungmetaller.

Inte lämplig för:

Fri fas av organiska föroreningar med begränsad vattenlöslighet (NAPL) som t.ex. olja eller kreosotolja.

Tid



Ex situ

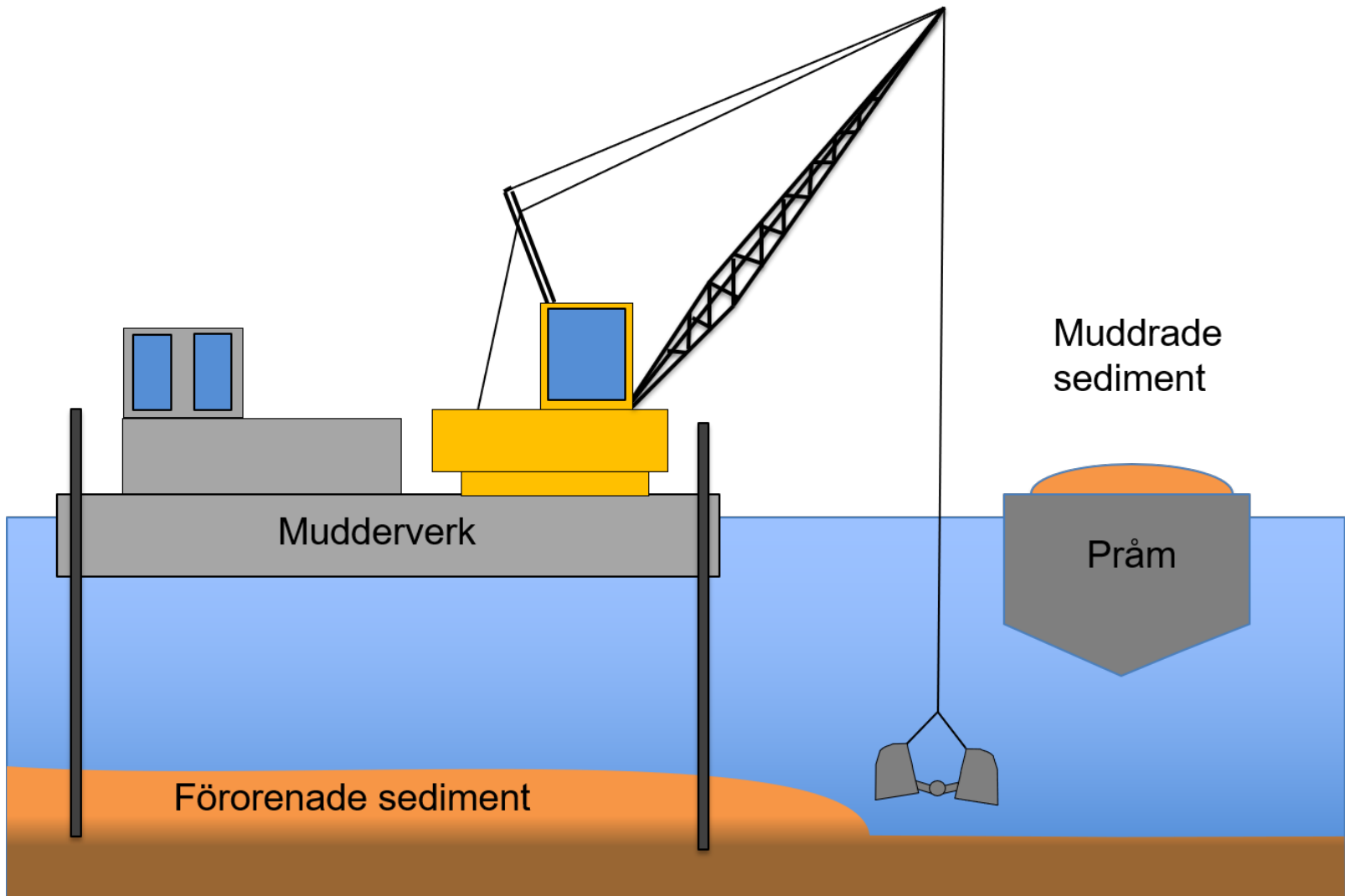
Muddring

(Förorenade) sediment avlägsnas för att behandlas och omhändertas på land eller i undantagsfall dumpas inom ett annat vattenområde.

- Grävuddring (mekanisk muddring), där någon typ av skopa används för losstagnning och för att lyfta sediment från botten till en pråm eller lastbil för borttransport.
- Sugmuddring (hydraulisk muddring), där sediment sugs upp och pumpas från botten till en pråm för borttransport eller direkt till land. Vanligtvis används någon typ av mekanisk losstagnning av sedimenten men sugmuddring kan också ske som slamsugning utan föregående losstagnning.
- Frysmuddring, där plattor med cirkulerande köldmedium används för frysning av sediment som sedan kan lyftas till en pråm för borttransport.

Lämplig för:

Alla typer av föroreningsämnen



Vattenrening

Sedimentering

Filtrering

Gravimetrisk oljeavskiljning

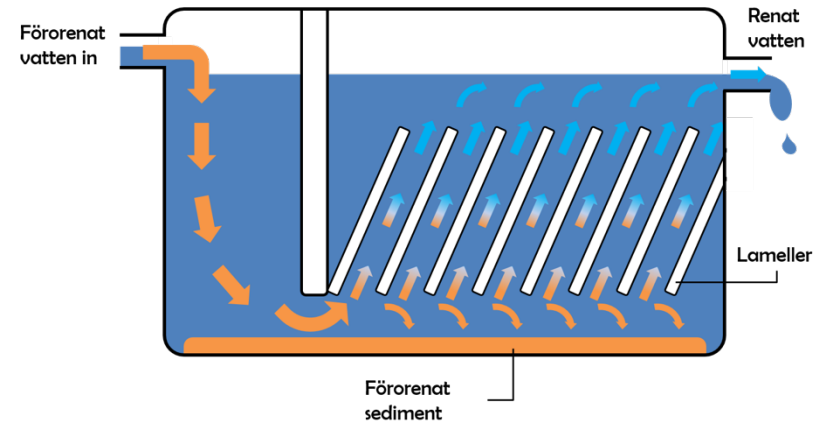
Luftinjektering

Sedimentering

Partikelbundna föroreningar sedimenterar då ett strömmande vatten "bromsas upp" i någon form av fördämning, t.ex. en sedimentationsbassäng.

Lämplig för:

Både organiska och oorganiska föroreningsämnen, men fungerar generellt bättre för tyngre/svårslösliga organiska ämnen och metaller än för relativt lösliga organiska ämnen t.ex. PAH, PCB, dioxin, organiska pesticider, metaller och metallorganiska föreningar.



Filtrering

Rad olika filtreringstekniker för att behandla förorenat grundvatten och pumpat länsvatten från saneringsschakter.

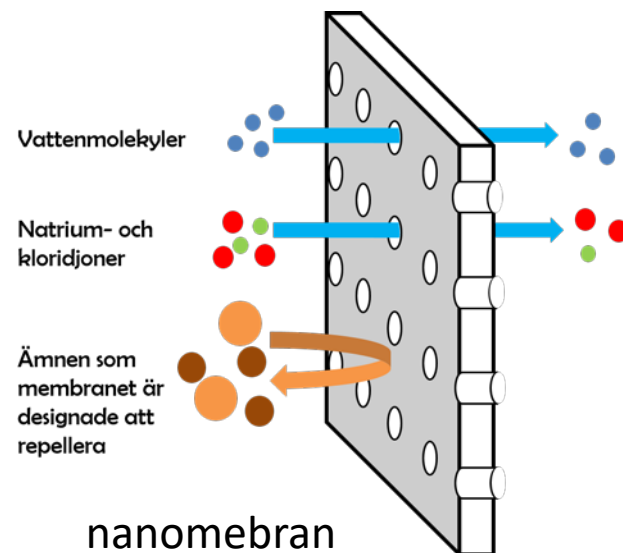
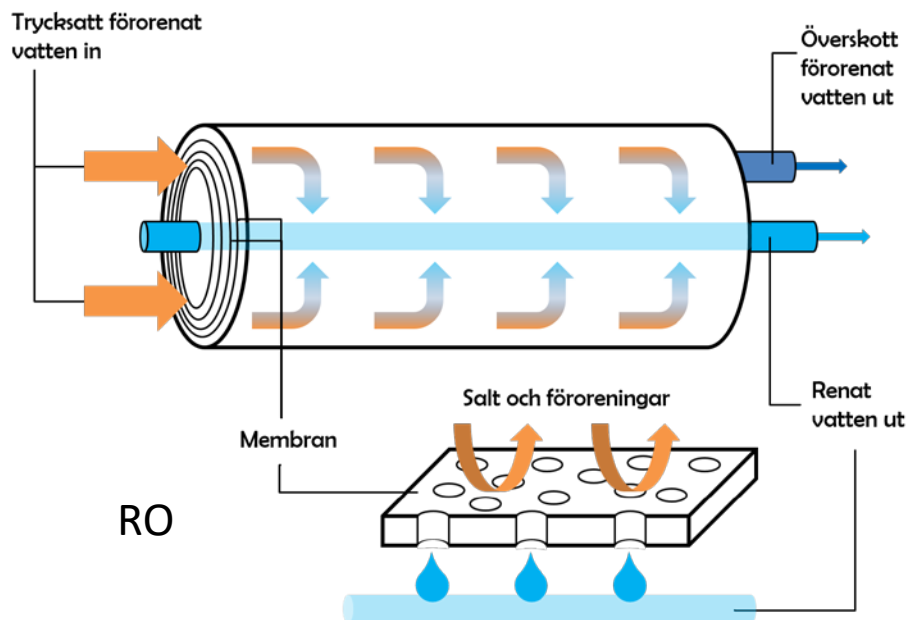
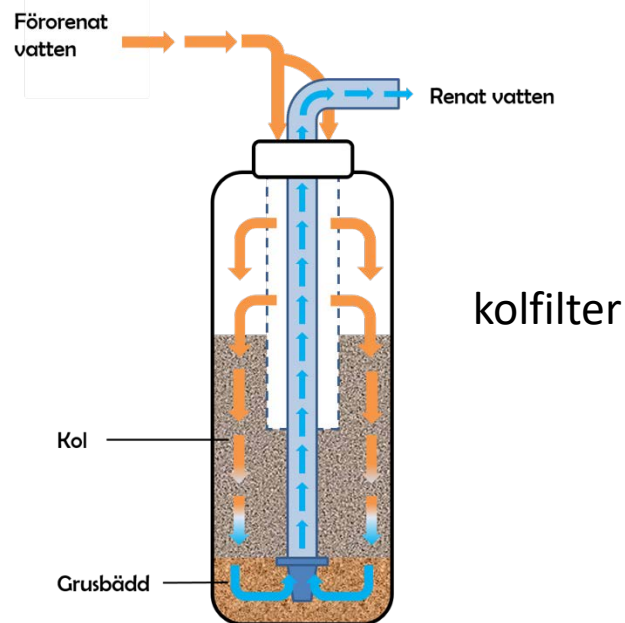
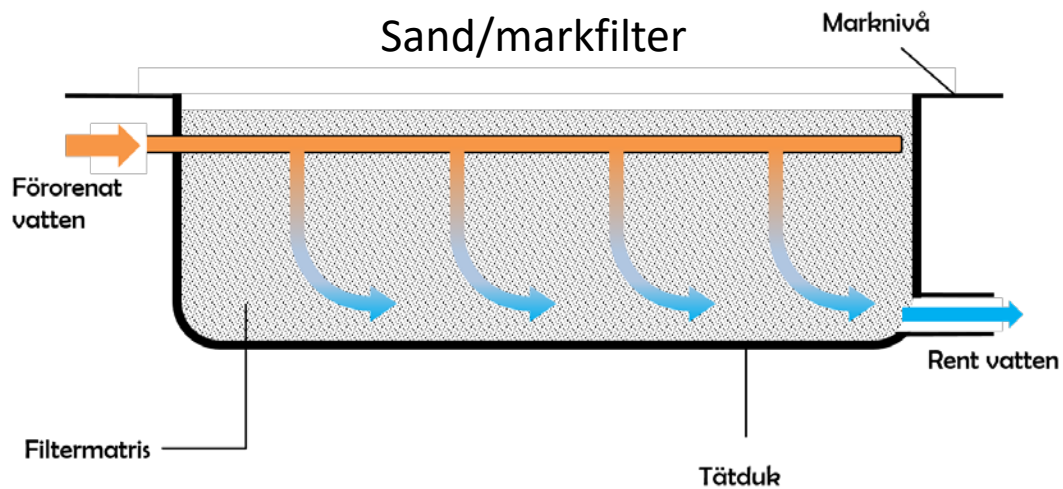
- Filtrering via aktivt kol ("kolfiltrering")
- Omvänd osmos
- Nanofiltrering
- Markfilter

Kombineras ofta med sedimentation och flera olika tekniker

Lämplig för

Kolfilter och nanofiltrering: Organiska föroreningsämnen, metaller som t.ex. arsenik och kvicksilver.

Markfilter och omvänd osmos: "Blandföroeningar" där det förekommer såväl organiska som oorganiska föroeningar.

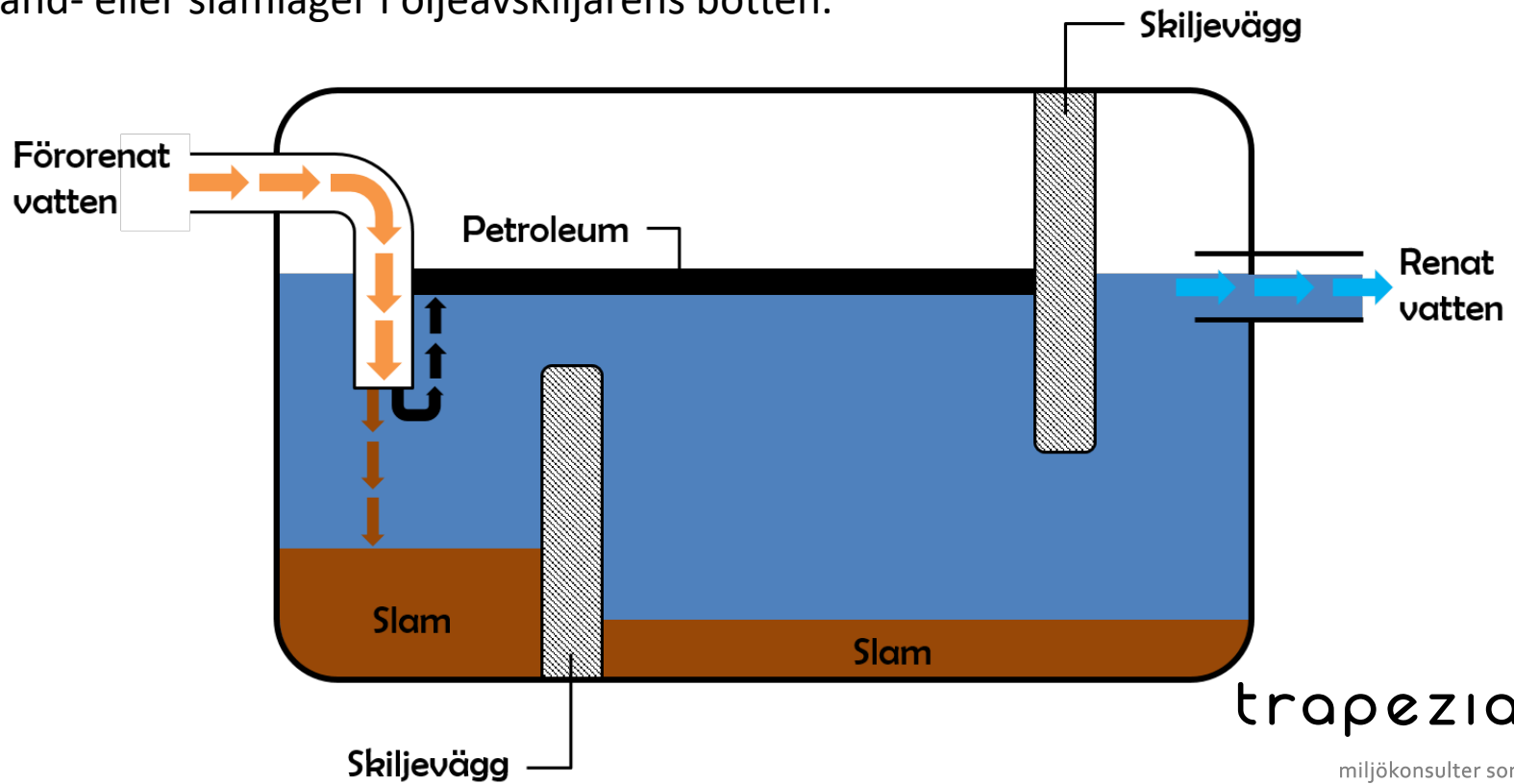


trapezia



Gravimetrisk oljeavskiljning

Gravimetrisk oljeavskiljning är baserad på att petroleum föreligger som fri fas (oljefilm) ovanpå vattenytan där den avskiljs från det strömmande vattnet. Samtidigt sjunker fasta partiklar genom vattenmassan och ansamlas som ett sand- eller slamlager i oljeavskiljarens botten.



Luftinjektering

Luftinjektering ("stripping") innebär att flyktiga föreningar som är lösta i vattenfasen avgår i gasfas då luft blåses in i vattenmassan. Vanligen används tekniskt ren luft, men det finns även anläggningar baserade på injektering av kvävgas eller vattenånga.

Lämplig för:

VOC t.ex. bensen, xylen, toluen m.fl. och klorerade alifater (trikloreten, vinylklorid m.fl.) med en Henrys konstant överstigande $0,001 \text{ atm m}^3/\text{mol}$

Inte lämplig för:

Organiska ämnen med hög molekylvikt såsom PAH, tyngre alifater/monoaromater, klorerade pesticider, flertalet högfluorerade ämnen (PFAS) m.fl.

